This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

3 3433 06637387 3

EXPOSÉ

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ.

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE
RUE SAINT-BENOÎT, 7

EXPOSÉ

DES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR

LE V^TE TH. DU MONCEL

TOME TROISIÈME

APPLICATIONS MÉCANIQUES, PHYSIQUES
ET PHYSIOLOGIQUES

DEUXIÈME ÉDITION

Ancien Comptoir
DES IMPRIMEURS-UNIS.

PARIS,

Ancienne Maison
L. MATHIAS (AUGUSTIN).

Librairie Scientifique-Industrielle et Agricole
DE LACROIX-COMON,
15, Quai Malaquais.

1857

EXPOSÉ

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

LIVRE III

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

V

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX PETITES INDUSTRIES, AUX ARTS ET AUX USAGES DOMESTIQUES.

Si les mécaniciens qui construisent les machines employées dans l'industrie connaissaient les principes de la science électrique, ou bien si les physiciens connaissaient suffisamment les détails de ces machines pour leur appliquer l'électricité, bien des fonctions mécaniques pourraient être notablement simplifiées, et le prix de ces machines elles-mêmes pourrait être considérablement réduit. Malheureusement il n'en est pas ainsi, car l'industriel et le savant qui ont une spécialité n'en sortent que très-rarement. Nous devons dire néanmoins que depuis deux ou trois ans un certain nombre d'applications importantes de l'électricité à l'industrie on été faites, et plusieurs d'entre elles ont figuré avec succès à l'Exposition universelle de 1855.

ÉLECTRO-TISSAGE.

Si l'on devait juger de l'importance d'une découverte par le bruit qu'en font les journaux, les métiers de tissage électro-magnétiques de M. Bonelli devraient être rangés en première ligne parmi les inventions modernes, car il ne s'agirait de rien moins que du renversement du mécanisme si ingénieux du célèbre Jacquart, au profit de cette nouvelle invention, qui, au dire de l'inventeur, procurerait aux fabricants une immense économie de main-d'œuvre; mais doit-on admettre qu'une découverte *très-réalisable*, il est vrai, mais qui n'est encore qu'à l'état de théorie, au point de vue industriel, puisse être jugée de prime-abord susceptible de renverser un système admirable mis en pratique depuis nombre d'années? Évidemment non.

Personne plus que moi n'est amateur des applications de l'électricité, et ne croit plus fermement aux services immenses que cet agent extraordinaire est appelé à rendre. Mais tout convaincu que je sois, je ne puis m'empêcher de rester incrédule devant les assertions que je vois étalées avec tant d'emphase dans certains journaux, et malgré mon incompétence dans l'industrie du tissage, je me demande toujours, si appliqué de cette manière, l'agent électro-magnétique reste bien dans les conditions qui sont en rapport avec sa nature, et avantageuses pour son emploi. Quels sont en effet les cas où *l'action mécanique* de l'électricité doit être préférée aux effets beaucoup plus économiques de la mécanique matérielle? C'est : 1° quand il s'agit de produire *à distance* un mouvement, une force très-minime, ou une indication; 2° quand avec une force excessivement faible, on veut réagir très-énergiquement; par exemple quand on veut faire réagir sur une détente très-dure un mouvement très-faible d'horlogerie; 3° quand on veut soumettre

des mécanismes à un mouvement synchronique, ou réagir sur des mécanismes différents, à des intervalles de temps infiniment courts. Ces applications, qui sont en rapport avec la conductibilité et la vitesse de l'électricité, sont évidemment les seules qui correspondent à la nature propre de cet agent physique. L'employer pour remplacer une fonction mécanique, c'est vouloir dépenser en pure perte l'alimentation d'une pile plus ou moins énergique. Tels sont les raisonnements qui, en dehors de la difficulté et des inconvénients matériels de l'application, doivent rendre incrédule sur l'avenir *industriel* d'une découverte qui, à proprement parler, n'est qu'une permutation de mécanisme dans les métiers à la Jacquart, puisqu'elle n'intervient que pour suppléer les cartons percés en usage dans ceux-ci. Il paraît du reste, d'après plusieurs articles insérés dans les journaux industriels, que les hommes spéciaux et compétents ne regardent pas cette invention comme viable, et assurent que *l'économie considérable* (d'après M. Bonelli), que l'on peut faire par la suppression des cartons percés est tout à fait illusoire. En effet, la façon à elle seule du commutateur électrique destiné à les remplacer est infiniment plus dispendieuse que le perçage des cartons, et la sûreté de l'opération est beaucoup moins grande. Que reste-t-il donc de l'invention de M. Bonelli?... Un métier coûtant beaucoup plus cher que les autres et pour accessoire une pile plus ou moins considérable dont la dépense à elle seule serait suffisante pour anihiler tous les bénéfices de fabrication. Il est vrai, comme le dit spirituellement M. Acklin, que pour certaines personnes à imagination il faut avant tout du merveilleux, et un métier de tissage sans électricité n'en a pas.

Métiers à la Jacquart. — Pour bien comprendre la disposition du mécanisme Bonelli il faudrait se rendre compte du principe des métiers à la Jacquart; or, c'est une question

assez difficile et assez longue à expliquer. Je vais néanmoins tâcher d'en donner une légère idée.

Un tissu ordinaire comme la toile se compose, ainsi que tout le monde le sait, de fils croisés alternativement les uns sur les autres. Or, pour que ce croisement s'effectue d'une manière prompte et exacte, il faut que par un moyen mécanique les fils qui sont tendus sur toute la longueur de l'étoffe et que l'on appelle *fils de la chaîne*, se trouvent séparés deux à deux, de manière que moitié soit en haut et moitié en bas, afin qu'on puisse en faire passer un en travers. Il faut de plus qu'à chaque *duite* ou à chaque passage de ce dernier fil appelé *fil de la trame*, les fils soulevés se croisent pour être séparés de nouveau, mais dans un ordre inverse, car alors le fil de la trame, en se repliant et en repassant en travers des fils de la chaîne, forme une nouvelle duite qu'il devient facile de serrer contre sa voisine à l'aide d'un peigne à bascule qu'on manœuvre à chaque révolution de la navette.

Tel est l'objet et le principe des métiers de tissage quand ils ne doivent être employés que pour la confection d'étoffes à tissu croissé ; mais quand il s'agit d'étoffes façonnées et particulièrement d'étoffes à couleurs variées, la question n'est plus aussi simple ; il faut non-seulement que des crochets saisissent en temps opportun ceux des fils de la chaîne qui se rapportent par leur couleur et leur position au dessin, mais encore que les navettes changent elles-mêmes et qu'une trame qu'on pourrait peut-être appeler trame de résistance vienne réunir tous ces fils entre eux après qu'ils ont été tissés suivant le dessin.

Avant Jacquart, les étoffes faconnées, les tissus à dessins se faisaient en Europe comme on les fait encore aujourd'hui dans l'Inde. Pour chaque métier il fallait trois ouvriers : un *liseur de dessins*, un *tireur de lacs ou de fils*, et un *tisserand* ou *tisseur*. Voici comment le travail s'exécutait.

On représentait le modèle du dessin à reproduire sur un grand tableau divisé en une multitude de petits carrés comme une table de Pythagore. Les lignes horizontales de ce tableau répondaient à la chaîne du tissu, les autres à la trame. Les petits carrés figuraient les points que les fils de l'étoffe forment en s'entre-croisant. Un signe placé sur ce tableau indiquait s'il fallait élever ou abaisser le fil de la chaîne.

Quand tout se trouvait ainsi disposé, le *liseur* se plaçait debout devant le tableau et commandait la manœuvre.

Assis devant le métier, le tisserand avait sous la main les navettes chargées des différentes couleurs qui devaient servir à former la trame. Le tireur de lacs ou de fils se tenait prêt à élever ou à abaisser les fils de la chaîne.

Alors le liseur, suivant de gauche à droite une des rangées horizontales du tableau, disait au tireur de lacs : levez tel ou tel fil. Quand le fil indiqué avait été levé, il disait au tisseur : lancez telle couleur et le tisseur lançait la navette chargée de la couleur désignée.

Dans la fabrique lyonnaise le travail du liseur était confié à une femme; quant au tireur de lacs c'était toujours un enfant.

Déjà, avant la découverte de Jacquart, le célèbre Vaucanson avait inventé et proposé une machine qui abrégeait considérablement le travail du tissage; mais les corporations ouvrières de Lyon, par suite de préjugés et de craintes que l'ignorance du vulgaire entretenait alors contre l'emploi des machines, s'étaient fortement opposées à son adoption, de sorte que son usage s'était fort peu étendu ; elle avait d'ailleurs l'inconvénient de ne pouvoir produire que de très-petits dessins, des fleurs ou des figures uniformes et de médiocre dimension.

Voici, suivant M. Figuier, auquel nous empruntons ces détails historiques, quelle était la disposition de la machine

de Vaucanson qui existe encore au Conservatoire des Arts et Métiers :

Vaucanson attacha tous les fils de la chaîne à l'aide d'un petit œil de verre, appelé *maillon*, à une mince ficelle, et chacune de ces ficelles fut fixée à une aiguille de fer. Il réunit par le haut toutes ces aiguilles, qui formèrent une sorte de parallélogramme allongé au-dessus duquel il plaça un cylindre de même dimension, qui se trouvait percé de trous régulièrement disposés. Ces trous correspondaient aux fils de la chaîne qui devaient être levés pour former le dessin, et le cylindre lui-même pouvait tourner d'une quantité constante après chaque coup de navette par l'intermédiaire d'un encliquetage mis en mouvement, à l'aide d'une pédale, par le tisseur. Les aiguilles de fer étaient sollicitées de bas en haut par des ressorts à boudin, de sorte qu'elles pouvaient toutes appuyer contre la surface du cylindre. Quand elles ne rencontraient que les *pleins* de cette surface cylindrique elles ne bougeaient pas de place, mais quand un trou venait à se présenter devant elles, elles s'y enfonçaient et par ce mouvement elles obligeaient les têtes de crochets soutenant les fils de la chaîne à se présenter à des traverses de fer soulevées de bas en haut par la pédale du tisseur. Les fils étaient donc ainsi soulevés d'après les trous du cylindre qui formaient le dessin, et c'était alors que la navette portait la trame autravers de ces fils, les uns soulevés, les autres droits, qu'elle s'y enchevêtrait et qu'elle traçait sur l'étoffe les dessins dont on voulait l'enrichir.

Le cylindre percé de trous, imaginé par Vaucanson, pour faciliter le tissage des étoffes façonnées, était, comme on le voit, une invention fort remarquable en elle-même; mais il présentait un grave inconvénient; c'est que ne pouvant dépasser certaines dimensions, il ne permettait qu'un certain nombre de coups de navette et l'on ne pouvait par conséquent former en l'employant que de petits dessins.

C'est pour obvier à cet inconvénient que Jacquart eut l'idée admirable de remplacer le cylindre dont les dimensions sont nécessairement limitées par une série de bandes de carton sur lesquelles devait être tracée la représentation ou la traduction du dessin à exécuter et dont le développement indéfini permettait de composer des dessins de toutes dimensions.

La fig. 1, pl. I, peut donner une idée de la disposition de ces cartons dans un métier à la Jacquart : le maillon sur lequel est accroché chaque fil de la chaîne, et qui peut du reste en porter trois ou cinq, suivant la grosseur des entrelacements que l'on veut faire, est attaché à un crochet A dont la tige passe à travers l'œil B d'une aiguille horizontale *cd*, convenablement maintenue.

Du mouvement de cette tige A dépend donc le soulèvement ou l'abaissement du fil qui lui correspond. Pour produire ce mouvement, le crochet *a*, qui termine la partie supérieure de cette tige, repose sur une lame transversale L que l'on voit en coupe transversale sur la figure. En soulevant cette dernière lame, on soulèvera donc la tige A, à moins que, par une circonstance quelconque, le crochet *a* ne soit retourné de côté. Dans ce cas, la lame L serait seule soulevée. Pour obtenir ce retournement du crochet *a*, il suffit que l'aiguille horizontale *cd* soit un peu avancée vers *c*, car alors un guide placé dans l'œil B communique à la tige A un mouvement de rotation sur elle-même dont l'amplitude correspond à la distance dont s'est déplacée l'aiguille *cd*.

Imaginons maintenant, circulant devant l'aiguille *c d*, un chapelet de cartons percés M N P, réunis bout à bout par des brins de ficelle et enroulés sur un treuil carré N auquel est communiqué un mouvement saccadé de rotation au moyen d'une pédale. On comprendra facilement que si un ressort à boudin R sollicite l'aiguille *cd* vers *c*, cette aiguille sera entraînée par ce ressort toutes les fois qu'un trou se

présentera devant elle. Toutes les fois, au contraire, que ce sera un plein qui passera, elle ne subira aucun dérangement. Or, comme chaque mouvement de cette aiguille a pour effet l'inertie du crochet A, il arrivera que tous les coups de pédale donnés à L n'auront d'action sur le fil de la chaîne correspondant à A qu'autant qu'un trou ne se présentera pas devant l'aiguille *cd*, c'est-à-dire que la disposition du dessin n'exigera pas la superposition du fil de trame à ce fil de la chaîne.

D'après cette disposition, on comprend qu'il faudra pour chaque espèce de dessin, avoir un nombre de crochets égal au nombre de fils de la chaîne divisé par le nombre des fils des maillons et un nombre de cartons égal à celui des coups de trame. Il y a des dessins qui exigent plus de 3000 aiguilles, 3,000 crochets et plus de 100,000 cartons. Pour prendre moins de place, les crochets et les aiguilles sont disposés sur plusieurs rangs parallèles, les premiers verticalement et les seconds horizontalement. En le projetant sur des surfaces planes correspondantes, on obtient une série de points en quinconce dont on trouvera les figures dans les ouvrages spéciaux tels que celui de M. Alcan.

Pour obtenir à bon marché des cartons percés, d'après la mise en carte, on a construit des machines particulières qui permettent de les fournir à bon compte. Un industriel de talent, M. Acklin, a même depuis quelques années substitué le papier au carton pour cette fonction délicate du tissage mécanique. Or, ce sont ces cartons percés que M. Bonelli a voulu remplacer par un mécanisme électromagnétique dont nous allons donner la description.

Premier système de M. Bonelli. — Dans le premier système Bonelli, la partie inférieure du métier Jacquart subsiste; seulement, les crochets se terminent par une tête de fer doux reposant sur une tringle de bois correspondant à la pédale. Cette tringle, ou ces tringles, car il

peut y en avoir plusieurs, se trouve, par le mouvement communiqué à cette pédale, élevée à la hauteur d'une ou de plusieurs séries d'électro-aimants droits, rangés les uns à côté des autres et en nombre égal à celui des crochets. C'est alors que se fait le triage de ceux de ces crochets qui doivent rester élevés et de ceux qui doivent se trouver abaissés. Voici comment :

Un cylindre métallique ou une toile sans fin métallique enroulée sur deux cylindres, est fixé derrière le métier, de manière à participer par l'intermédiaire d'une relation mécanique au mouvement des tringles précédentes. Cette participation à ce mouvement a pour but de faire tourner le cylindre d'une quantité constante, un millimètre environ, pour chaque mouvement, et peut s'obtenir, comme on le comprend aisément, à l'aide d'une roue à rochet et d'un encliquetage. Ce cylindre, qui représente celui du métier de Vaucanson, joue le rôle d'interrupteur ou de distributeur du courant. A cet effet, il porte appuyées contre sa surface, une série de pointes métalliques à contre-poids, qui communiquent chacune avec un des électro-aimants dont nous avons parlé. Ces pointes étant rangées sur une seule et même ligne droite faciliteraient l'exécution de l'interrupteur; mais comme en raison de leur nombre, elles pourraient exiger du cylindre une trop grande longueur, on peut les disposer par étages. C'est une complication pour le dessinateur, il est vrai, mais cet inconvénient est largement compensé par les avantages qu'on obtient. Les électro-aimants du métier communiquent d'autre part avec l'un des pôles de la pile, tandis que l'autre pôle est en rapport avec un frotteur qui appuie sur le cylindre ou la toile sans fin métallique servant de commutateur.

Sur ce cylindre ou sur cette toile se trouve le dessin composé en langage de tissage, c'est-à-dire en parties isolantes et en parties conductrices disposées d'après l'ordre des fils

et des *duites*. Il y a donc, pour chacune des lignes ou génératrices du cylindre, éloignées l'une de l'autre de un millimètre, des parties conductrices alternées de parties non conductrices qui, venant à passer sous les pointes en rapport avec les électro-aimants du métier, peuvent rendre ceux-ci actifs ou inertes, suivant que c'est une partie conductrice ou une partie isolante qui se présente. Ces électro-aimants représentent donc en force magnétique ce que représente en conductibilité chaque ligne du cylindre, et, par conséquent, maintiennent soulevés dans l'ordre voulu les crochets qui leur correspondent.

Pour obtenir ces espaces isolants du transmetteur, M. Bonelli employait le vernis copale, de sorte qu'il suffisait de les peindre avec le pinceau en façon carrelée pour que les caprices de leurs formes soient reproduites par le tissage. Quand le dessin n'a que deux couleurs, ce travail est extrêmement facile, puisqu'il ne s'agit que de peindre au vernis les parties qui sont occupées par une couleur, et de laisser à leur brillant métallique celles qui doivent être occupées par l'autre couleur. Mais, dans les dessins plus chargés, comme les dessins de cachemires, le travail est plus compliqué; et, pour le ramener à une mise en train facile, M. Bonelli a adapté à l'appareil un transmetteur particulier que nous allons décrire et qui se dispose comme une forme d'imprimerie.

Cette partie de l'appareil se compose de deux appareils indépendants l'un de l'autre d'une *grille-composteur* et d'un *peigne à dents mobiles*. Il y a de plus, un casier où sont rangés, suivant les différentes nuances des couleurs et les espaces qu'elles doivent occuper, de petits morceaux de métal de différentes longueurs (variant suivant l'ordre des couleurs), et de différentes largeurs (variant suivant l'espace qu'elles doivent occuper sur le dessin). Ces petits morceaux de métal ont une tête qui leur permet d'entrer dans les vides

de la grille sans qu'ils puissent tomber; et comme ils sont tous de même épaisseur ils peuvent être assemblés les uns à côté des autres, bien qu'ils représentent des couleurs différentes et occupent en largeur des espaces différents. Quand on a ainsi traduit le dessin et composé les différentes lignes présentées par les vides de la grille, on fixe sur cette grille une planche qui maintient au même niveau toutes les têtes de ces parties métalliques, de telle sorte que du côté opposé on se trouve avoir une surface inégale, sur laquelle il suffit d'appliquer successivement ligne par ligne les dents mobiles du peigne pour obtenir une nouvelle traduction susceptible d'être appropriée à l'interrupteur.

A cet effet, les dents mobiles du peigne, qui ne sont autre chose que de petites lames métalliques maintenues par des coulisses entre deux pièces de bois parallèles, sont vernies sur leur surface supérieure, à l'exception d'un seul point qui est le même pour toutes. Quand toutes ces dents sont à la même hauteur, les parties conductrices forment sur toute la longueur du peigne une ligne droite; mais si on les applique sur la grille-composteur après qu'elle a été composée, elles sont refoulées plus ou moins et les parties conductrices se trouvent alors distribuées par échelons, suivant les couleurs, quoique appartenant à la même duite.

Comme les différentes dents de ce peigne sont chacune en rapport avec l'un des électro-aimants du métier, et qu'un frotteur en rapport avec la pile se trouve, à chaque coup donné à la pédale, appliqué transversalement sur toutes ces dents, il arrive que tous les électro-aimants qui doivent soulever les crochets en rapport avec chaque couleur sont soulevés en même temps, et que l'on peut, par conséquent, faire circuler successivement les navettes correspondant à ces différentes couleurs pour une même duite.

Pour les fils de la trame supplémentaire qui, comme nous l'avons déjà dit, sont destinés à relier tous les fils,

après qu'ils ont satisfait aux exigences du dessin, et à lustrer l'étoffe; comme ils n'exigent que douze cartons avec les Jacquart ordinaires, on peut, dit M. Bonelli, laisser subsister ce mécanisme. Cependant, dans des métiers nouveaux, on pourrait le disposer comme les autres; seulement il faudrait que les électro-aimants fussent beaucoup plus puissants. C'est cette partie du mécanisme des métiers Jacquart à laquelle on a donné le nom d'armures.

Après avoir ainsi exposé la disposition du métier Bonelli, il ne sera pas sans intérêt de savoir comment l'ont envisagé, au point de vue industriel, les hommes compétents de l'art; nous en ferons autant pour les autres systèmes, convaincus que nous sommes que c'est d'une discussion bien entendue que peut naître la vérité. Auparavant, laissons parler M. Bonelli, et voyons ses espérances.

« Toute personne, écrit M. Bonelli à la *Gazette de Savoie*, qui a quelque idée du tissage, sait qu'il consiste essentiellement en un simple entrelacement de fils, que l'apparence des tissus varie selon l'ordre dans lequel ces fils sont disposés, et qu'en réglant cet ordre on reproduit les dessins les plus compliqués que puisse enfanter la fantaisie de l'artiste. Cet effet merveilleux par lequel le tisseur, exécutant machinalement la même manœuvre, comme s'il s'agissait de la toile la plus simple, voit naître sous sa main les étoffes les plus riches, cet effet qu'obtenaient autrefois des enfants accroupis au-dessous du métier et en tirant des cordes, se produit aujourd'hui, grâce au génie de Jacquart, par le mouvement que le tisseur donne lui-même à une pédale.

« Cette invention, cependant, tout admirable qu'elle est, ne laisse pas que d'avoir des difficultés et quelques défauts auxquels on serait heureux de pouvoir se soustraire. A chaque passage d'un fil de trame ou *duite*, il faut un carton d'une certaine longueur percé de trous disposés

d'après un ordre correspondant au dessin. Si l'on réfléchit que pour certains dessins l'on a dû employer jusqu'à soixante mille cartons, et que d'ordinaire on en emploie quinze cents pour un dessin à couleurs peu compliquées, et si l'on calcule qu'ils coûtent environ 15 francs le cent, on pourra aisément comprendre que ces cartons doivent être la cause d'une très-forte dépense et d'un grand embarras.

« Cette forte dépense est le principal inconvénient des métiers à la Jacquart : ce n'est pas le seul. Il s'en trouve d'autres qui ne manquent pas d'une certaine importance. D'abord le bruit que produit le battant qui doit donner un coup d'une certaine force pour repousser les baguettes, rend son voisinage incommode, et ne permet pas d'établir des métiers là où l'on veut; au contraire, il les fait exiler dans les parties les plus écartées et les plus solitaires des villes. L'échafaudage et la place qu'ils occupent pour les cartons demandent aussi beaucoup d'espace et des ateliers dont le plafond soit très-élevé. La grande quantité des ressorts nécessaires est ensuite une source de dérangements continuels, soit pour ceux qui se rompent, soit pour ceux qui fléchissent et qui ne conservent plus assez de force pour repousser les baguettes.

« Tous ces inconvénients vont disparaître par l'introduction de l'électricité, dont l'action est si puissante, si facile à produire, si docile à diriger, si prompte à agir ou à s'arrêter tout à fait. Plus de mécanisme compliqué, plus de cartons, plus rien : la pédale du tisseur élève les lisses comme elle le fait à présent, met leur tête en contact avec autant de morceaux de fer doux, entourés de fil de cuivre qu'un courant électrique aimante ou désaimante à volonté, et voilà que, sans aucun bruit, quelques lisses restent suspendues et quelques autres descendent, selon que vous dirigez votre courant plutôt dans un sens que dans un autre. Il en

résulte une grande simplicité pour le métier qui ne tiendra plus que la place d'un métier commun à toile.

« Pour diriger l'électricité, il n'est pas non plus besoin de mécanisme, de traduction ou de lisage du dessin. Vous avez une série de pointes disposées sur une même ligne comme les dents d'un peigne dont chaque pointe communique avec un électro-aimant. Vous n'aurez qu'à passer au-dessous de ces pointes votre dessin fait avec un vernis sur un cylindre ou sur une feuille métallique en communication avec la pile. Le courant passera là seulement où manquera le vernis, et ce seront les lisses correspondantes qui resteront seules soulevées, et qui par là reproduiront votre dessin tel qu'il est sorti des mains de l'artiste avec une exactitude surprenante.

« Au lieu de dépenses de dessin sur papier carrelé, du forage des cartons et de leur commettage, vous n'aurez que celles du dessin et de la manutention de la pile. L'expérience des télégraphes fait connaître combien sera faible cette dernière; vous épargnerez pour les dessins les plus compliqués presque les trois quarts des dépenses; pour les autres, certainement plus que la moitié; vous pourrez de plus corriger et varier vos dessins par quelques coups de pinceau, et le peu de frais qu'ils vous coûteront vous permettra de les renouveler plus souvent, sauf à vous en servir plusieurs fois, s'il y a intérêt à le faire.

« Aussitôt que tous les brevets d'invention qu'on a demandés dans toute l'Europe et en Amérique seront délivrés et parvenus, l'on exposera à Turin, dans un local que l'on fera connaître plus tard, un *métier électrique* qui fonctionnera côte à côte avec un *métier à la Jacquart*, produisant la même étoffe et le même dessin. Le public, qui sera librement admis à les visiter, pourra juger par lui-même de quelle énorme importance est l'application de l'électricité au tissage. »

Voici maintenant ce que pensent MM. Jouve de Lyon et Edouard Gand, d'Amiens, de cette découverte :

«Jusqu'à ce jour nous nous sommes bornés, dit M. Jouve, au rôle de rapporteur, en ce qui concerne la merveilleuse invention de M. le chevalier Bonelli et les éloges que lui ont prodigués à l'envi les journaux piémontais et français. Nous ne nous départirons pas de cette attitude, en transcrivant ici les objections que nous avons entendu faire par des hommes d'une compétence incontestable, relativement à l'application pratique de ce procédé, et à la supériorité que conserverait encore la mécanique à la Jacquart. »

« Voici le résumé de ces observations qui, nous le répétons, ne nous appartiennent point en propre, mais qui ont un cachet de précision et de spécialité telles, qu'il semble difficile de ne pas y avoir égard :

« Par le procédé Bonelli, disent les incrédules auxquels nous faisons allusion, le travail de la mise en carte est maintenu. Mais la transmission de la mise en carte sur la planche de cuivre qui remplace les cartons sera, sans exagération, huit fois plus lente que le travail du lisage.

« Les chances d'erreur seront en outre plus nombreuses, et les fautes plus difficiles à corriger.

« Quant à l'exécution du dessin, la difficulté de présenter la plaque de cuivre aux aiguilles, de manière que celles-ci correspondent parfaitement aux parties dénudées du métal, rend le résultat problématique.

« L'économie du montage est nulle, ou plutôt c'est l'inverse qui est la vérité, la plaque de cuivre préparée devant, d'après toutes les apparences, coûter sept à huit fois plus que les tons mis en place.

« Dans le procédé ordinaire, le dessin une fois créé, se reproduit facilement à l'aide d'un repiquage peu coûteux et sans aucun frais de lisage. Dans le procédé Bonelli, au con-

traire, chaque métier nécessite le même travail de transmission et les mêmes frais que le premier.

« Enfin, ce qui n'est pas indifférent, le coût du métier considéré en lui-même, abstraction faite des inconvénients précités, sera le double de celui du métier ordinaire. »

« D'après ce qui précède, on voit que l'invention de M. Bonelli en elle-même n'est pas mise en question. Ce qui est contesté, c'est son utilité pratique et sa supériorité sur le métier Jacquart. En supposant que ces objections soient fondées, et nous penchons fort pour l'affirmative, ce procédé n'en a pas moins le mérite d'être fort ingénieux, et de présenter une application nouvelle et inattendue de l'électricité.

« Ce procédé, d'ailleurs, n'en est qu'à son début : il est fort possible que, par des perfectionnements successifs, l'inventeur vienne à bout d'en faire disparaître les inconvénients et de lui assurer une supériorité réelle sur le mécanisme actuellement en usage.

« Dans tout cela, nous ne voyons donc pas une raison de repousser d'une manière absolue l'invention de M. Bonelli et de désespérer de son avenir; mais nous y trouvons un motif suffisant d'accueillir avec réserve les éloges absolus dont elle a tout d'abord été l'objet. Quant à présent, nous y voyons surtout une belle et intéressante expérience qu'il importe de poursuivre, et dont ressortiront peut-être des résultats imprévus, pratiques et féconds. »

A. Jouve.

« Depuis quelques mois, dit maintenant M. Ed. Gand, le monde industriel se préoccupe d'une découverte qui doit faire une révolution complète dans l'art de fabriquer les étoffes façonnées. On prétend que la mécanique Jacquart a fait son temps. Désormais les cartons seront inutiles; l'électro-magnétisme permettra de rendre tous les dessins, de quelque dimension qu'ils soient. Immense économie

pour le fabricant, grands avantages pour l'ouvrier, perte de temps presque insignifiante : tous ces problèmes sont résolus. Une batterie électrique monstre donnera un mouvement intelligent à des appareils reproduisant sur le tissu toutes sortes de compositions artistiques. Mais comment ces appareils seront-ils construits? C'est ce que M. Bonelli, l'auteur de la découverte, n'a pas cru devoir exposer au public. Il est probable que le système nouveau est basé sur la fermeture et la rupture d'un circuit électrique. Des espèces de tiges soulevées ou non par l'interposition calculée de corps non isolants ou isolants, prennent ou laissent, sans doute, les fils de chaîne, et jouent le rôle des cartons et des crochets soulevés par une griffe dans la Jacquart ordinaire.

« Qu'on nous permette de faire quelques objections au tissage électrique proposé par M. Bonelli.

« D'abord, est-il bien vrai qu'il soit possible de se passer de la Jacquart? Serait-ce s'en passer que de substituer à cette ingénieuse machine, une machine équivalente et dont le principe serait identiquement le même, quoique d'un aspect différent? Pour obtenir une étoffe façonnée, il faut que chaque fil soit levé ou laissé individuellement, suivant le caprice du dessin : là est toute la difficulté; difficulté immense puisqu'il a fallu à l'illustre Jacquart bien des années de labeurs et un vaste génie pour la résoudre.

« Or, que ce soit un carton, dont un plein ou un trou agisse sur un crochet vertical, par l'intermédiaire d'une aiguille horizontale, de manière que ce crochet ne lève pas ou lève le fil de chaîne, ou bien que ce soit une tige, influencée ou non par un courant électrique qui produise ce résultat, toujours est-il qu'il faudra remplacer la quantité de crochets de la Jacquart par une quantité équivalente de tiges électro-magnétiques. Où sera la différence comme principe? où sera l'économie comme dépense? où sera la simplicité comme perfectionnement? Il n'y aura nul

avantage sous aucun de ces trois points de vue. Cela est tellement vrai, que M. Bonelli, prétextant qu'il faudrait occasionner aux fabricants de Lyon une dépense de 10 ou 12,000,000 pour substituer la machine nouvelle aux anciens métiers qu'ils possèdent, vient, dit-on, d'appliquer l'électro-magnétisme à la Jacquart même. C'est ce que nous apprend la *Gazette piémontaise* du 12 novembre dernier.

« Voici donc encore la Jacquart réhabilitée. Combien de fois d'insensés rêveurs ont voulu détrôner cet admirable chef-d'œuvre! N'avons-nous pas vu, à l'exposition de Londres, une foule de monstruosités destinées à transformer le tissage? La grande découverte, le but à atteindre, ce serait d'éviter les cartons, cet épouvantail des fabricants. Nous demanderons si M. Bonelli a trouvé le moyen de les remplacer avec avantage, et cela dans les circonstances suivantes :

« Supposons qu'on veuille faire un tapis *moquette*. On sait que pour fabriquer cette étoffe, il faut diviser les cartons et la quantité de crochets que l'on désire employer, en autant de séries qu'il y a de chaînes de couleur dans la composition du tissu. Si le dessin est fait avec une palette de quatre tons, par exemple, et que la mécanique soit de 400 crochets, il y a quatre divisions de cent trous dans le carton, et quatre divisions de cent crochets correspondants dans la mécanique. Enfin les fils de chaîne mis en jeu par ces trous isolés mathématiquement dans le carton, viennent à leur tour se réunir en faisceau de quatre couleurs dans chaque dent du peigne [1] et reconstituent localement, par leur juxtaposition et leurs levées alternatives, les accidents et les caprices du dessin de la mise en carte [2]. Ainsi, répétons-le,

[1] Châssis long et étroit, composé de petites broches métalliques plates, dans l'intervalle desquelles on passe les fils de chaîne.

[2] Papier réglé à petits carreaux, dans le genre du papier canevas, sur lequel on établit le dessin.

ce qui est sous forme de dessin à couleurs juxtacombinés sur la carte, se fractionne par groupes de couleurs sur le carton. Or, on prétend que, dans le système Bonelli, tout se borne au travail artistique. Quand un fabricant aura choisi une esquisse, il suffira, devons-nous supposer, d'en faire la mise en carte. Mais il est évident que cette carte sera insuffisante, car elle représente un dessin entier, c'est-à-dire des nuances arbitrairement confondues; et puisque chaque tige a une action sur chaque fil correspondant, et que celle qui lève *rouge*, par exemple, ne doit jamais lever *écarlate*, *rose* ou *blanc*, il devient donc indispensable de *translater*[1] le dessin sur quatre autres cartes, contenant chacune les configurations capricieuses de sa nuance spéciale, afin que chaque couleur ait à son tour une action électrique sur la tige correspondante. Qu'on nous dise si ce travail, aussi long que difficile ne sera pas plus coûteux que des cartons, car il ne peut être fait que par des artistes et non par des ouvriers ordinaires.

«Mais ce *translatage*, tout dispendieux qu'il soit, n'offre pas les difficultés de celui dont nous allons parler. Dans les châles, dans les cachemires pour gilets, ce ne sont plus les chaînes qui se multiplient, ce sont les trames, et, par conséquent, les navettes. Si une mise en carte contient cent divisions en hauteur, et qu'il y ait cinq couleurs dans la composition du dessin, il faut *lire* cette carte cinq fois et avoir cinq cents cartons; car chaque *duite totale*[2] étant la résultante de cinq fractions de duite de couleurs différentes, il faut évidemment un carton pour chaque fraction, afin de localiser chaque couleur. Ainsi, la mise en carte, si simple à décomposer, si facile à *lire* ou à traduire sur un carton, au moyen du grand métier nommé *lisage*, aura aussi un

1 Reproduire séparément, par une série de cartes *ad hoc*, toutes les couleurs confondues dans une première.

2. Fil que la navette conduit depuis une lisière jusqu'à l'autre.

translatage à subir pour être appliquée au métier électro-magnétique. En effet, puisque chaque partie de la chaîne doit successivement, et à cinq reprises consécutives, se lever pour permettre à chacune des cinq couleurs de se loger dans la chaîne à la place qui lui est assignée dans le canevas-type, il serait indispensable de translater chaque couleur sur une division spéciale du canevas électro-magnétique, ce qui revient à faire cinq autres nouvelles mises en carte. Se figure-t-on le temps et la patience qu'il faudra pour exécuter cet immense travail, surtout si le dessin exige 10 à 12,000 combinaisons, représentant 2,000 à 2,400 duites, composées de cinq couleurs chacune.

« Et puis, quand un dessin sera en vogue, comment en reproduira-t-on des exemplaires électro-magnétiques applicables à d'autres métiers? Dans le système Jacquart, on copie un jeu de cartons, au moyen d'une machine spéciale qu'on appelle *repiquage*. Ce travail simple, rapide, peu coûteux et purement mécanique, n'exige nullement le concours ultérieur de l'artiste. En sera-t-il de même dans le système Bonelli? Et s'il faut recommencer, pour chaque métier, la série d'opérations artistiques dont nous avons parlé plus haut, encore une fois, où sera l'économie, où sera le temps gagné, où sera la difficulté vaincue?

« Loin de nous la pensée de vouloir discréditer une découverte qui, certes, nous séduirait, si les promesses que fait l'auteur devaient se réaliser! Quand on nous aura, par des chiffres et des faits, prouvé que nous avons tort de douter, et que nos objections ont été prévues, nous serons les premiers à applaudir et à entrer avec empressement dans la voie nouvelle. Mais, jusqu'à ce qu'on nous ait démontré mathématiquement tous les avantages du nouveau système, nous conserverons nos sympathies à la merveilleuse machine de l'immortel Jacquart. »

Bien que la valeur de ces dernières objections ait été un

peu amoindrie par l'invention du commutateur à *composteur* dont nous avons parlé, cette critique n'en est pas moins, quant au fond, parfaitement juste.

Système Maumené. — Dans son système, M. Maumené, au lieu de faire réagir les électro-aimants sur les crochets des fils de la chaîne, les fait réagir sur les aiguilles qui, dans la Jacquart ordinaire, soutiennent ces crochets. Par cette disposition, la machine ordinaire est conservée presque intacte. Elle nécessite seulement l'espacement plus grand des aiguilles, l'agrandissement de leur étui et le changement de la structure des élastiques. Ainsi, les aiguilles seraient d'inégale longueur pour être à portée des différentes rangées des électro-aimants, et les élastiques, au lieu d'agir par extension et pour repousser les aiguilles, seraient disposées de manière à les ramener par contraction. Les mouvements s'exécuteraient ainsi qu'il suit :

En partant du point de repos, c'est-à-dire du moment où les crochets sont descendus, le châssis des électro-aimants se trouverait en contact avec les têtes d'aiguilles; le coup de pédale du tisseur ferait, comme à l'ordinaire, monter la griffe; mais le ressort extérieur, guide du battant dans la machine ordinaire, agirait sur le châssis des électro-aimants pour l'éloigner dès le premier moment et le porter à la distance où les crochets ne peuvent plus être saisis par la griffe. Tous les électro-aimants à travers lesquels passera le courant, entraîneront leurs aiguilles, malgré les élastiques, et la griffe, en montant, ne saisira que les crochets dont les aiguilles ne se trouveront pas déplacées. Le tisseur, ayant donné son coup, abandonnera le pédale, la griffe et les crochets redescendront, et le ressort permettra au châssis de revenir en son point de repos. A ce moment, le cylindre commutateur, par l'intermédiaire d'un encliquetage, tournera d'une dent, et offrira de nouvelles issues au courant pour pénétrer dans les électro-aimants. De cette manière,

un nouveau coup de pédale amènera le déplacement d'autres aiguilles, etc., etc. « Les avantages de ce système, dit M. Maumené, sont faciles à saisir, moins de fatigue pour l'ouvrier, qui n'aura plus à soulever, comme dans le métier à la Jacquart, qu'une certaine quantité de plombs, moins de dépense pour l'appareil électro-magnétique, les électro-aimants devant être plus petits que ceux du métier Bonelli, puisqu'ils ont moins de force à exercer. »

Quant au cylindre commutateur, M. Maumené le dispose de la manière suivante :

Au lieu de présenter à sa surface un carrelé ou canevas gravé, sur lequel on doit distribuer le vernis, d'après les exigences du dessin, comme dans le système Bonelli, ce cylindre est percé de trous correspondant aux différentes mailles du carrelé; et c'est en introduisant dans ces trous des goupilles saillantes qu'il fixe avec de l'alliage fusible de Darcet, que M. Maumené compose son dessin de tissage. Ces goupilles jouent donc le même rôle que les espaces non vernis dans le système Bonelli. Elles ont l'avantage d'être pour le compositeur du dessin d'une manipulation facile, d'une grande sûreté pour l'action électrique, et d'une correction aisée et prompte. Sous ces différents rapports, ce commutateur est préférable à celui de M. Bonelli; pourtant, M. Maumené en a préféré un autre dont l'installation serait beaucoup plus difficile et plus compliquée. Il s'agirait, en effet, de remplacer le cylindre troué par une planche de cuivre également trouée, qui serait fixée au plafond, et qui serait mise en mouvement par une crémaillère commandée par un engrenage. Ce serait alors sur une roue à rochet faisant partie de cet engrenage que réagirait le châssis aux électro-aimants à chaque mouvement qu'il opérerait. Il va sans dire que le dessin serait composé avec des goupilles sur cette planche métallique, comme il l'aurait été sur le cylindre, et que les ressorts-frotteurs du

commutateur se trouveraient à portée de cette planche.

Ce système a été l'objet de réclamations de la part de M. Bonelli, et, il faut l'avouer, ce dernier était dans son droit; car le châssis aux électro-aimants, se mouvant latéralement, est indiqué dans le brevet de M. Bonelli comme une des dispositions à donner à son appareil. Les commutateurs précédents, qui ne sont, d'ailleurs, que la répétition de ceux qui ont été décrits dans notre premier volume, avaient été également indiqués, du moins quant au principe, par M. Bonelli. En définitive, il n'y a donc que l'idée de la réaction des électro-aimants sur les aiguilles des crochets qui appartienne à M. Maumené. Est-ce un progrès ou un perfectionnement? C'est très-contestable. C'est ce qui résulte de l'article suivant, inséré dans le *Moniteur industriel* du 26 mars 1854 :

« Le jour où M. Bonelli a fait connaître son système, dit M. E. Gand, le monde scientifique et industriel s'est profondément ému. Les savants ont vu dans cette découverte un nouveau mode d'application de l'électro-magnétisme. Les industriels ont cru à une révolution dans le tissage, et ils attendent avec anxiété les perfectionnements promis ultérieurement par M. Bonelli, ainsi que le résultat des essais auxquels d'autres hommes compétents se livrent de leur côté.

« Réussira-t-on à substituer l'électricité aux procédés actuellement en usage dans la fabrication des étoffes? Là est toute la question. On sait que le but des recherches à ce sujet est de dispenser les fabricants de l'emploi des cartons-Jacquart. Y parviendra-t-on? Peut-être; mais rien de sérieux, ainsi que je vais le prouver, n'a encore été proposé, jusqu'à présent, pour la solution de ce problème. Cependant, l'application de l'électricité aux métiers à tisser est une chose incontestable, comme découverte scientifique. C'est un fait acquis, je ne le discuterai pas; seule-

ment, je crois pouvoir hardiment lui refuser le titre de découverte industrielle.

« Pour qu'une découverte soit profitable à l'industrie, il faut, avant tout, — c'est la condition *sine quâ non*, — qu'elle apporte des améliorations économiques et pratiques.

« Ainsi, dans le tissage, par exemple, il faudrait qu'on pût obtenir :

1° Un perfectionnement dans le système de fabrication ;

2° Une simplification dans le mécanisme ;

3° Une économie dans la main-d'œuvre ;

4° Une accélération dans la production.

« M. Bonelli a-t-il jusqu'alors apporté un de ces changements? Non.

« M. Maumené a-t-il obtenu un seul de ces avantages? Encore une fois, non.

« Ces messieurs sont parvenus, il est vrai, à supprimer les cartons ; mais, franchement, est-ce les supprimer que de les remplacer par des ustensiles sinon plus coûteux, du moins aussi dispendieux ; et puis, non-seulement ils n'ont pas substitué au métier Jacquart une machine plus parfaite, mais ils n'ont pas même simplifié ce métier : ils le gardent tout entier, et, qui plus est, ils le compliquent de tout un immense attirail électro-magnétique.

« Ainsi donc, au point de vue industriel, je crois pouvoir affirmer que la question de l'électro-magnétisme appliqué au tissage, est loin d'être résolue. Pour justifier ma conviction à cet égard, je vais aborder quelques détails techniques. Toutefois, comme il importe, avant de juger définitivement e métier de M. Bonelli, d'attendre que l'inventeur lui ait fait subir les modifications dont il dit se préoccuper en ce moment, je ne parlerai que des perfectionnements apportés par M. Maumené à l'appareil de son devancier.

« Chacun a pu lire les détails pleins d'intérêt que contient le n° 573 de l'*Illustration* du 18 février dernier.

J'avouerai que je suis plus que jamais convaincu de l'insuffisance des moyens qu'on propose et de l'impossibilité d'en faire l'application pratique.

«En effet, par quoi M. Maumené remplace-t-il les cartons?

1° Par l'addition d'une deuxième machine *latérale* au métier Jacquart;

2° Par une batterie électrique;

3° Par une planche à goupilles mobiles. Ces goupilles sont en métal. Le conduit électrique est *formé* partout où il y a une goupille; il est *rompu* partout où il n'y en a pas.

«La deuxième machine, qui rappelle, sauf le procédé, la petite mécanique *auxiliaire* (à papier) de M. Acklin, est aussi compliquée que la Jacquart même. Elle aura 600 électros, si la Jacquart contient 600 aiguilles, ce qui doublera évidemment les chances d'avaries dans le matériel, les imperfections dans le tissu, les causes de dérangement, d'embarras et de perte de temps pour l'ouvrier. Cette deuxième machine coûtera 3,000 francs, à raison de 5 francs par électro, au dire de M. Arthur Baligot de Beyne, auteur du remarquable article sur les métiers électriques, inséré dans le n° 573 de l'*Illustration*.

« La pile électrique occasionnera une dépense continue, et son entretien nécessitera plusieurs ouvriers *ad hoc*.

«Le jeu des planches suspendues au plafond et marchant sur roulettes, exigera un emplacement immense. En effet, supposons qu'on ait à exécuter un dessin de 20,000 *duites* sur une mécanique de 600 crochets, comment la planche d'un semblable dessin pourra-t-elle fonctionner dans un atelier contenant un grand nombre de métiers? Comment ces métiers devront-ils être enchevêtrés pour permettre aux planches de faire leurs longues évolutions? Quel sera le poids de ces planches dans un dessin de 30 ou 40,000 duites? Par quel procédé rapide ces planches, arrivées au bout de leur course, seront-elles ramenées à leur point de départ, c'est-

à-dire à l'arête initiale? Comment fera-t-on mouler les *planches-copies?* On aura donc un atelier spécial pour cela, des ouvriers mouleurs et fondeurs spéciaux?

« Ce n'est pas tout : comment fera-t-on *la mise en trou conique* des goupilles? Sera-ce d'après une mise en carte translucide? Ce travail purement mécanique sera donc ultérieur au travail artistique, puisqu'il aura fallu préalablement *écrire* une mise en carte sur le papier quadrillé? Qu'aura-t-on alors changé aux procédés en usage, c'est-à-dire à la série d'opérations successives par lesquelles il faut passer pour exécuter les cartons ordinaires? Où sera le perfectionnement? Où sera la simplicité? Où sera l'économie?

« Passons à la lecture. Que gagnera-t-on à substituer le travail de la mise en trou conique à celui si simple et si rapide de la lecture sur le *semple* dans le lisage de la Jacquart ordinaire? Reprenons notre exemple d'un dessin de 20,000 duites sur 600 crochets. On peut admettre raisonnablement que la *moitié* de la chaîne *lève* dans chaque ouverture combinée, destinée au passage de la navette. Alors il y aura 300 goupilles à poser, d'après la lecture, sur chaque longueur d'*arête* contenant 600 trous, il restera par conséquent 300 trous vides sur chacune de ces arêtes. Eh bien, si l'on multiplie 300 par 20,000 on aura SIX MILLIONS de goupilles à poser *une à une*. Cet immense travail demandera au liseur le plus assidu et le plus expéditif un temps incalculable, tandis que, dans la lecture au *semple* ordinaire, l'ouvrier acquiert une dextérité comparable au doigté d'un instrumentiste habile.

« Enfin, dans la lecture au semple, il est très-rare qu'on ait à pointer l'armure du tissu sur la partie blanche de la mise en carte représentant le fond de l'étoffe. On obtient le perçage du tissu dans le carton, par des combinaisons d'*encroix* spéciaux exécuté dans les cordes du semple, antérieurement à la lecture. Il faudra, au contraire, toujours pointer

l'armure du tissu sur les feuilles translucides destinées aux planches horizontales, afin de guider le liseur et de lui faire poser une goupille sur chaque point *écrit*. Où sera, encore une fois, l'économie en temps, en frais et en main-d'œuvre?

« Je me résume, et je soutiens que la découverte de M. Bonelli, ainsi que les perfectionnements proposés par M. Maumené tout intéressants qu'ils soient, ne sont pas encore suffisamment étudiés et simplifiés pour rendre des services à l'industrie. Je pense que MM. Bonelli et Maumené n'arriveront sérieusement à ce résultat qu'autant qu'ils pourront trouver un système qui METTE L'ÉLECTRICITÉ EN RAPPORT DIRECT AVEC LES FILS DE CHAINE OU TOUT AU MOINS AVEC LES ARCADES QUI SERVENT A LEVER CES FILS.

« S'ils gardent la Jacquart, s'ils y ajoutent une deuxième machine, s'ils conservent l'équivalent des cartons sous forme de planches horizontales à goupilles, de cylindres à vernis isolant, ou autres intermédiaires analogues, ils n'auront fait que compliquer le système en adjoignant très-inutilement un *second moteur :* LE FLUIDE ÉLECTRIQUE, à un premier moteur intelligent et très-suffisant : L'OUVRIER. Cette superfluité n'existe pas, on en conviendra, dans l'emploi du carton Jacquart ordinaire, carton si simple, si ingénieux, si peu embarrassant pour l'ouvrier, carton qu'on peut confier à des apprentis encore enfants, et qu'on peut manier sans une précaution minutieuse.

« Je le répète, la découverte de l'application de l'électricité au tissage, n'a produit, quant à présent du moins, ni amélioration ni bénéfice pour l'industrie. »

ÉDOUARD GAD.

Système de MM. Pascal et Mathieu. — Dans une de ses dernières séances, la Société d'agriculture de Lyon a eu l'occasion d'étudier une tentative nouvelle de l'application

de la force électro-motrice au métier à tisser la soie. Cette tentative est due à deux jeunes Lyonnais, MM. Pascal et Mathieu.

« On n'a pas oublié, sans doute, dit M. Tisserant, la description que les journaux ont donnée récemment d'une mécanique à la Jacquart *marchant* par l'électricité. L'idée fondamentale qui caractérise l'invention de M. Bonelli consiste dans la substitution aux cartons ordinaires d'une lame métallique dont la surface est divisée, par le burin, en petits carrés d'un millimètre de côté, et où le dessin qui doit être reproduit sur l'étoffe, se trouve tracé avec un vernis non conducteur de l'électricité. Cette lame métallique est placée au-dessus d'une série transversale d'aiguilles qui, par l'intermédiaire d'électro-aimants, peuvent réagir ou non sur les fils ou lisses, suivant que la lame de l'ouvrier mise en mouvement à chaque coup de pédale leur présente des parties conductrices ou non conductrices.

« Le système de M. Bonelli exige, pour fonctionner, une assez grande dépense d'électricité. Cet inconvénient n'existe pas dans l'appareil que MM. Pascal et Mathieu ont mis sous les yeux de la Société d'agriculture. Au point de vue de l'utilisation de la force électro-motrice, leur idée paraît très-heureuse. En effet, dans l'établissement d'une machine quelconque, économiser la puissance est l'un des problèmes les plus importants à résoudre. Cette condition essentielle nous paraît avoir été bien remplie dans le métier modèle que ces jeunes gens ont fait fonctionner devant nous.

« La lame de cuivre qui a reçu le dessin est placée dans une situation verticale, et latéralement par rapport aux crochets qui soutiennent les fils. Elle tourne sur un cylindre, sans déplacement total. Le *dégriffement* a lieu, sous l'influence du courant électrique, par un petit mouvement de rotation des crochets sur leur axe, mouvement qui les fait échapper de la bouche du collet par laquelle ils sont rete-

nus dans l'état de repos. Les fils dont les crochets sont restés en place se trouvent alors enlevés par les pédales. Les électro-aimants n'ont d'autre office ici que de faire exécuter, à chaque coup de pédale, aux crochets correspondant aux divisions de la plaque qui ne sont pas recouvertes par le vernis, un léger mouvement de bascule, ce qui n'exige qu'une puissance minime. On ne saurait disconvenir que ce soit là une application très-ingénieuse de la force électrique dans un appareil où il s'agit de réunir la simplicité et la régularité à l'économie.

« Les jeunes inventeurs espèrent pouvoir exécuter avec une mécanique construite d'après ces principes, tout ce que fait aujourd'hui le métier Jacquart. Nous faisons des vœux pour qu'ils réussissent. Les difficultés à vaincre nous paraissent nombreuses et graves; MM. Mathieu et Pascal n'en méritent pas moins les encouragements de leurs concitoyens pour les résultats auxquels ils sont déjà parvenus. La société ne pouvait, en quelques instants, apprécier la valeur de leur invention; elle a confié à une commission prise dans son sein, et composée de fabricants et d'hommes s'occupant de sciences physiques et mécaniques, la mission de l'examiner avec plus de détails. Elle se féliciterait doublement d'avoir à signaler un nouveau progrès dans l'une des plus belles industries de la France et de pouvoir le rapporter à deux enfants de Lyon. »

Le secrétaire général, TISSERANT.

Système de M. E. Gand. — Nous avons vu précédemment avec quelle logique et avec quelle justesse d'appréciation M. E. Gand avait discuté les inconvénients inhérents au système de tissage de M. Bonelli. Cette critique est d'autant plus sérieuse qu'elle émane d'un homme spécial [1], qui,

1. M. Gand est à la fois industriel et dessinateur pour étoffes.

contrairement à beaucoup d'industriels, a une propension marquée pour les découvertes nouvelles. Toutefois, tout en démontrant l'impossibilité pratique des métiers Bonelli, M. Gand a recherché les conditions dans lesquelles ces métiers devraient être construits pour satisfaire aux exigences de la fabrication, et il a combiné dans ce but un système que nous allons maintenant étudier, quoiqu'il ne soit pas encore, comme l'auteur le fait remarquer lui-même, à l'abri de toute objection.

Ainsi qu'on l'a vu, page 27, M. Gand a émis cette pensée que l'électricité ne pouvait être applicable à la fabrication des tissus qu'autant qu'on trouvera un système qui mette le fluide électrique en rapport direct avec les fils de la chaîne, *ou tout au moins avec chacune des arcades qui servent à faire lever les fils*. Pour réaliser cette pensée, il réunit dans une seule machine les éléments nécessaires à l'exécution complète du tissu; il place dans la machine même les électro-aimants, et les fait agir *directement* sur les tiges à crochet, qu'il appelle alors crochets-griffes. De cette manière, des fils conducteurs fixes sont substitués aux aiguilles mobiles de la Jacquart, qui sont, comme on le sait, sujettes à des dérangements continuels. Enfin, il emploie pour distributeur du courant le système même des cartons percés de Jacquard auxquels il substitue, par exemple, du papier.

Dans ce système, l'auteur a surtout cherché à placer le papier commutateur dans des conditions telles qu'il pût exercer une très-grande résistance avec le moins de fatigue possible. L'application du papier sur une surface plane et polie résout ce problème. En effet le papier, *dont l'épaisseur n'offrirait isolément qu'une résistance insuffisante, deviendra par suite de son application sur cette surface inflexible, capable de repousser la pointe émoussée d'une aiguille métallique très-mobile d'ailleurs.*

C'est un cylindre K, à huit pans (fig. 2, pl. I) de métal, qui reçoit successivement chaque division du papier X, qui doit être *continu* et *isolant;* toute division (fig. 5) correspond à un coup de navette. Ces divisions ont environ 18^{mm} de haut sur 15 cent. de large en grandeur naturelle pour 400 trous.

Le cylindre dépend d'un battant, semblable à celui qui met en jeu le cylindre d'un métier Jacquart ordinaire. Ce battant imprime donc au cylindre octogone un mouvement alternatif de recul et de retrait.

Une planchette J, fig. 2, contre laquelle vient battre l'octogone, est traversée par des petits clous *x*, disposés de telle sorte qu'ils correspondent parfaitement aux positions qu'occupent tous les trous que peut contenir la bande de papier (fig. 5).

Ces clous, dont la pointe dépasse d'un millimètre environ le côté de la planchette J qui fait face au cylindre K (fig. 2), ont au contraire, de l'autre côté des têtes (fig. 6) qui sont d'autant plus allongées que ces clous sont placés plus bas dans la planchette J.

Contre ces têtes, en saillie, échelonnées, viennent s'appliquer des tiges métalliques verticales, adaptées au suport en forme de pupitre S, fig. 2.

A ces tiges aboutissent les fils conducteurs H′ qui passent par les électros E, sortent en H, et descendent vers l'un des pôles de la pile. D'autres fils conducteurs H″, vont du pôle opposé de cette pile au cylindre métallique K.

Les tiges verticales *t* agissent comme ressort sur les têtes *x* des clous, en sorte que, quand le papier interposé entre un pan métallique et la pointe des clous vient s'appliquer contre la planchette J, celles des pointes qui font face aux *pleins* du papier, reculent d'une quantité égale à l'épaisseur de ce papier, ce qui permet, et c'est là surtout le point capital, aux pointes placées en regard des *vides* de

ce même papier, de plonger jusqu'au métal et de se mettre en contact parfait avec lui.

Les tiges D sont munies à leur extrémité supérieure d'un axe de suspension *g*, et à leur partie inférieure d'un crochet-griffe *d* placé en regard d'une entaille *b* (fig. 4) de la pièce ascensionnelle *e*; Ces tiges D sont soulevées à volonté par un châssis A ascensionnel, au moyen d'une poulie R, communiquant à la pédale de l'ouvrier par un arbre de couche et une corde, comme dans les métiers à tisser ordinaires.

Les pièces *e* destinés à soulever les arcades *i* reposent sur la planche horizontale C; une barre-guide F maintient les 4 crochets *d* d'une rangée, parfaitement en regard des entailles *b*.

Lorsque la machine est au repos, ainsi que l'indique la figure 2, c'est-à-dire, lorsque les tiges D sont au bas de leur course, les barreaux *h*, dépendant d'un châssis-propulseur B qu'un mécanisme spécial fait mouvoir alternativement de droite à gauche, poussent ces tiges D contre les électros E, et les forcent à prendre la position verticale qu'elles ont dans la figure. Alors l'extrémité inférieure *d*, ou le crochet-griffe de chaque tige, pénètre dans l'entaille *b* qui lui fait face.

Dans cette position le cylindre K et le papier X sont maintenus contre les pointes des clous *x*. Conséquemment les *trous* du papier permettent, comme nous l'avons dit plus haut, aux pointes des clous de se mettre en contact avec le métal d'un des pans de l'octogone.

Le circuit s'établit et les électros, dont les fils conducteurs aboutissent à ces pointes, agissent comme *aimants* sur leurs tiges D respectives.

Il y a, au contraire, rupture du circuit partout où les *pleins* isolants du papier viennent s'interposer entre le métal du cylindre et les pointes des clous. Alors les élec-

tros, dont les fils conducteurs aboutissent à ces pointes n'ont aucun pouvoir attractif sur les tiges D, et par conséquent sur les crochets-griffres *d* qui leur correspondent.

Si, maintenant, l'ouvrier fait lever le châssis A au moyen de la poulie R, ce châssis enlève avec lui *tous* les crochets-griffes *indistinctement*. Le châssis propulseur B est aussitôt repoussé vers la *droite* par un mécanisme opposé à celui qui primitivement le poussait vers la gauche. Les barreaux *h* entraînés vers la droite (fig. 3), cessent d'agir sur les tiges D et les abandonnent toutes à elles-mêmes.

Mais parmi celles-ci, les unes, adhérant aux électros *aimantés*, restent dans leur position verticale et glissent contre ces électros dans le mouvement ascensionnel jusqu'à ce que leurs crochets *d*, UTILES [1] commencent à soulever les pièces *e*. Les autres, abandonnées à elles-mêmes par les électros *non-aimantés*, sont poussés par les ressorts *v* contre les butoirs *y* fixés au châssis ascensionnel A. Leurs crochets *d*, UTILES, s'écartent alors des entailles carrées *b* (fig. 4) assez à temps et à une distance suffisante pour ne pas s'y engager.

Par une disposition spéciale, le battant n'écarte l'octogone de la planchette J que lorsque cette division en crochets UTILES et en crochets *inutiles* [2] a eu le temps de s'effectuer, c'est-à-dire, lorsque les uns ont déjà commencé à soulever les pièces *e* tandis que les autres sont passées à côté sans pouvoir les prendre.

C'est alors que le battant entraîne le cylindre K et l'écarte des pointes des clous. En cet instant l'action magnétique est détruite *partout*. Les tiges des crochets utiles engagées dans les entailles *d* peuvent évidemment cesser de glisser

1. Dans la figure 2 toute la partie de droite est tiers de proportion avec le corps de la machine placé à gauche. Le dessinateur a dû procéder ainsi pour faire mieux ressortir le détail de la planche J.

2. L'auteur appelle *utiles* les crochets qui doivent prendre ou faire lever les fils de la chaîne, et *inutiles* ceux qui doivent les laisser.

contre les électros, ce glissement n'ayant en effet plus raison d'être, *puisque la prise des pièces e, qui doivent lever les arcades i et les fils de chaîne qui correspondent aux maillons suspendus à ces arcades est accomplie.*

Le problème est donc résolu.

Les avantages économiques et pratiques de ce système peuvent se résumer ainsi :

1° Le papier coûte dix fois moins que les cartons ordinaires...

2° Au moyen du papier on pourrra *au moins,* exécuter tous les articles possibles, qu'ils soient composés de chaînes multiples ou de plusieurs navettes juxtalancées. Le translatage de la mise en carte est inutile.

Nouveau système de M. Bonelli. — Nous avons vu que le commutateur employé par M. Bonelli consistait dans un cylindre ou surface métallique sur lequel appuyaient des pointes fixes en rapport avec les électro-aimants et dont les parties isolantes étaient obtenues au moyen du vernis copale. L'expérience ne tarda pas à lui démontrer que ce système était complétement mauvais. En effet les pointes en frottant sur le vernis s'imprégnaient de matière isolante et ne transmettaient plus le courant quand elles étaient sur une partie métallique, ou écorchaient cette légère couche de vernis et produisaient des fermetures anormales de courant. Pour remédier à cet inconvénient, M. Bonelli a cherché à combiner son commutateur d'une manière tout à fait inverse à ce qu'il était. Ainsi au lieu de rendre isolante une surface conductrice, il s'est imaginé de métalliser une surface isolante, et de ne faire réagir les pointes sur le commutateur qu'au moment même de chaque battement du métier. Voici comment ce problème a été résolu.

Le dessinateur trace sur une simple feuille de papier et à l'aide d'un vernis gras, le dessin qui doit être reproduit sur l'étoffe. Il recouvre ensuite ce dessin d'une mince

feuille d'étain qui est laissée en contact pendant une demi-heure environ de manière à la faire adhérer avec le dessin c'est-à-dire avec les parties recouvertes de vernis. On frotte alors le papier avec un tampon de coton. Sur le papier ainsi frotté, l'étain reste adhérent au vernis ; il disparaît au contraire des parties qui n'en ont point reçu. On obtient donc sur le papier la reproduction du dessin en une légère couche métallique et par conséquent conductrice de l'électricité ; au contraire le fond demeure simplement formé de papier, c'est à dire d'une substance isolante.

« Ce n'est pas, dit M. Figuier, la seule différence qui existe entre les deux appareils de M. Bonelli. Dans son premier métier, ce savant employait les électro-aimants à développer une force mécanique. Ces électro-aimants soulevaient directement les fils de la chaîne, ce qui exigeait une force électrique considérable. Dans le modèle actuel, M. Bonelli revenant au métier Jaquart a très-heureusement perfectionné ce mécanisme. Les aiguilles qui doivent soulever les fils de la chaîne ne sont plus attirées isolément par les électro-aimants ; comme dans le métier Jacquart elles sont poussées toutes à la fois par une action mécanique indépendante du reste du système, c'est-à-dire par une pédale manœuvrée par l'ouvrier. Dans ce mouvement toutes les aiguilles butent contre un arrêt. Ce sont ces arrêts, petits leviers d'une grande mobilité, qui constituent l'armature des électro-aimants, quand le fluide électrique les attire vers l'électro-aimant ; ils éprouvent un léger déplacement, et dès lors par suite de ce changement de position l'aiguille du crochet auquel ils correspondent tire le fil de la chaîne suivant l'exigence du dessin[1]. »

S'il faut en croire les journaux il paraîtrait que M. Bonelli aurait trouvé un système de *translatage* très-simple

[1] Un perfectionnement du même genre avait été proposé depuis longtemps par MM. Mathieu et Pascal, de Lyon.

qui devait être expérimenté chez M. Dolfus. Je suppose que M. Bonelli annoncera bientôt les résultats qu'il aura obtenus. En attendant voici comment MM. Acklin et Ed. Gand jugent les nouveaux perfectionnements apportés par M. Bonelli à ses métiers :

« La réouverture de la discussion sur le tissage dit électrique (bien que l'électricité ne tisse pas, et ne soit qu'un agent de plus dans la mécanique, d'où il suit que le tissage est toujours mécanique) a été provoquée, dit M. Acklin, par un article de M. L. Figuier, dans le feuilleton de *la Presse* du 16 février dernier, où il s'étonne du silence des corps savants, auxquels M. Bonelli a présenté son invention ; il déclare qu'il est incompétent en matière de tissage, et que ce n'est qu'en physicien qu'il émet son opinion; il regrette qu'aucune voix ne se soit fait entendre pour ou contre l'invention qu'il vient de faire connaître. Tel est l'appel auquel a répondu M. Carpentier, réponse dans laquelle l'auteur demande, à son tour, si on a la certitude de la régularité de l'électricité dans son application, etc., d'où il résulte la confirmation d'une observation faite depuis longtemps ; c'est que la question du tissage électrique ne vit encore que parce que les physiciens ne sont pas tisseurs, et que les tisseurs ne sont pas physiciens; mais dès qu'après bien des demandes et des réponses, les hommes de sciences et d'industrie, se seront éclairés, justice sera bientôt faite; elle l'est depuis longtemps par ceux qui ont étudié ces deux choses, et leur décision est pour la négative.

« Quelle est la conclusion de M. Carpentier? c'est l'inutilité de l'emploi de l'électricité dans la mécanique Vaucanson ; bien que ce ne soit pas ses expressions, je vais prouver qu'il aboutit à cette conclusion :

« On sait qu'il s'agit d'une feuille métallisée sur laquelle on trace un dessin avec un vernis isolant, et ce en l'absence

de tous guides ou calculs préalables, sans distribution quelconque; tout est livré au hasard!

« M. Carpentier condamne la suppression de la mise en carte, et il a raison; on ne peut laisser au hasard une chose qui a essentiellement besoin d'être réglée, bien déterminée. Aucun homme compétent dans le tissage n'admettra de tisser au hasard; il est absolument nécessaire qu'un point du dessin donne constamment le même effet. Or, conçoit-on qu'au milieu de courbes de toutes sortes, le contact des aiguilles sur le dessin puisse toujours prendre en plein sur un point vernis ou sur un qui ne l'est pas? Évidemment non; il y aura dans les voisinages des parties vernies et de celles qui ne le sont pas, des contacts imparfaits entre les aiguilles ou peigne qui touchent le cylindre au papier métallisé, il y aura à l'arrivée de chaque ligne vernie un quasi-contact qui laissera peu ou pas assez passage à l'électricité, et si la ligne peinte n'est pas rigoureusement correcte, si par exemple il y a une fraction de ligne droite transversale qui doive faire lever plusieurs fils côte à côte, il suffira que la ligne vernie ait de ces petits renflements qui sont inévitables, pour que la communication du fluide n'ait pas lieu sur toute cette partie à la fois, et aussitôt des fautes se produisent sur le tissu; cela aura certainement lieu avec une marche de cylindre telle que l'annonce l'ingénieur de la compagnie Bonelli; il dit que le cylindre ou dessin avance *d'une fraction de millimètre à chaque coup*! En vérité, il faudrait n'avoir jamais vu un métier en marche pour croire à l'exactitude de si petits mouvements obligés de fournir des mises en rapport à des mobiles si multipliés et si ténus. On concevrait cette manière de procéder s'il s'agissait de faire lever ou baisser des pilons dans une espèce de pétrin où il y aurait une pâte destinée à devenir un objet en relief, qu'il serait facile de corriger ensuite au moyen d'une petite truelle; mais faire ainsi pour les tissus où chaque fil

a son rôle d'entrelacement à remplir avec exactitude et une constance parfaite, chaque fil ayant son effet prévu, calculé, arrêté d'avance par le metteur en carte, encore une fois le hasard est inacceptable, on n'aurait qu'un affreux embrouillage. Cet état de choses ne permettrait pas la marche à retour pour détisser quand un fil casse, ou pour toutes autres causes; c'est surtout au tissage du châle, où il faut répéter les courses, c'est-à-dire chaque série de duites composées de 4 à 12 couleurs, c'est ce retour de contact des aiguilles sur les mêmes points, à un dixième de millimètre près! peut-être moins encore; c'est là qu'il faut arriver, sans quoi pas de châle.

« Nous le demandons, qui est-ce qui voudra tisser dans de pareilles conditions? Qu'on y réfléchisse bien, ce sont des fractions de millimètre qui renfermeront la distribution de chaque coup de trame, de sorte qu'un millimètre fera la distribution de toute une duite de 4 à 12 couleurs, et par conséquent remplacera de 4 à 12 cartons!... .

« Mais tout cela n'est rien encore :

« On se met fort à l'aise en parlant toujours de tissus damassés, sans s'inquiéter même des armures qui, par exemple, lient les fils d'une large feuille, pour les empêcher de traîner; mais que, par la pensée, les gens compétents fassent une petite excursion dans le domaine des différents genres de tissus, et qu'ils voient si tout se passe de même quand le dessin est fait par la chaîne ou par la trame, quand le dessin est sans envers, quand enfin on procède par telle ou telle armure ou ordre d'enlacement des fils, et ils verront comment les fractions du millimètre se prêteront à toutes ces combinaisons et quelle sécurité ils trouveront. Voyons ce qu'on fera dans le cas où un dessin à 800 crochets, exigera, en certains points, une levée de 799 fils, le suivant 1 fil, le troisième coup lèvera 797 fils, le quatrième 3, le cinquième 795, le sixième 5, etc.; le dessin aura une pre-

mière transversale où le métal sera à découvert, à l'exception d'un tout petit point, que je suppose être au milieu de la largeur du dessin, lequel petit point n'a qu'à bien se tenir, car le voilà tout seul, n'ayant pour base qu'une fraction de millimètre! Au deuxième coup, et à une fraction de millimètre de distance, on tirera deux lignes, qui seront interrompues à la place correspondante du premier petit point; au troisième coup, le métal sera à découvert, moins un point correspondant à deux fils; il sera donc un peu plus large que le premier, mais sa hauteur est constamment d'une fraction de millimètre. Il en est de même des grandes lignes qui commanderont les forces levées; je ne développerai pas davantage cette progression. Disons seulement que, par complaisance, nous admettons le concours des lisses pour faire l'armure, moyen employé dans le spécimen Bonelli, et qui n'est propre qu'à un genre de tissus; mais si nous voulions exiger la condition de varier d'armures par places différentes, les impossibilités surgiraient en foule. On voit de suite qu'il y aura pour cette disposition, citée plus haut, une suite de lignes parallèles très-rapprochées, et, en passant, je prie le dessinateur qui fera ce travail, d'agréer mes sincères compliments, s'il fait cela à main levée. Mais je crois qu'il atteindra mieux son but en se servant d'une règle et d'un tire-lignes. Mais nous voilà bien près d'une mise en carte, et même de quelque chose de pire. C'est égal, poursuivons, et examinons quelle sera la solidité de ces filets de vernis sur le métal; et d'abord, ce vernis sera-t-il gras ou sec? S'il est gras, il se détachera assez facilement, et des parties adhéreront aux pointes de contact du peigne chargé d'établir la circulation du fluide, et on comprend qu'une fois les contacts vernis, le fluide ne peut plus passer, quel que soit l'état du cylindre ou du dessin; le vernis est-il sec? Dans ce cas, il s'écaille, et des fautes se produisent par l'effet des pointes où le métal est mis à

découvert. Cette circonstance inévitable du vernissage des pointes de contact par les attouchements fréquents de ces derniers sur le dessin vernis, ne permet pas de faire fonctionner industriellement un tel système, ça n'a rien de sérieux. L'oxydation de la feuille métallique et des pointes, par la buée et toutes sortes de causes qui se produisent dans les ateliers, sont autant d'empêchements à la libre circulation du fluide. Au surplus, voici un exemple qui fixera de suite ce point : on sait que la transmission d'une dépêche télégraphique est rarement exempte de fautes, et là, il ne s'agit que d'un fil, d'un seul contact; eh bien, que faut-il espérer obtenir dans le jeu d'un mécanisme où il y aura de 400 à 1,200 de ces contacts? Est-il besoin d'insister davantage sur ce point? Non.

« Si le dessin avance par fractions de millimètres, les contacts seront bien petits, et le passage du fluide très-compromis.

« Quant à l'idée de varier les quantités d'avancement du dessin, pour faire un tissu grossier ou fin, à volonté, cela est encore une erreur, parce que les rapports de la chaîne et de la trame sont forcément arrêtés d'avance, et sont invariables pour un tissu donné; ainsi, non-seulement on ne peut admettre le tissage au hasard, mais fût-il admis, on ne pourrait ajouter cet autre hasard, la variété dans la marche. D'ailleurs le métal sur le papier est-il bien solide? Les manipulations de ce papier métallisé, lorsqu'on le place sur le cylindre ou qu'on le serre après s'en être servi, n'altèrent-elles pas le métal et le vernis? de là des lacunes de métal et de vernis, et que devient le dessin?

« Jusqu'ici, cependant, nous nous sommes tenus complaisamment dans la condition où se présente le système Bonelli, c'est-à-dire le montage d'un métier avec des lisses de levée et de rabat, montage propre à faire du damassé à une seule armure,

« Les armures (modes de croisement des fils de chaîne avec les fils de trame) sont au dessin du tissu ce que les hachures et divers modes d'ombrer sont au dessin au crayon sur papier; c'est-à-dire que le nombre en est grand. Outre leur importance artistique, elles servent aussi de lien et consolident le tissu même; or, on le devine aisément, les deux effets sont dépendants l'un de l'autre, et il faut un homme fort instruit pour faire ce genre de travail, qui consiste à satisfaire simultanément à l'art, par des effets très-variés et aux conditions industrielles pour la contexture et la solidité du tissu, conditions elles-mêmes très-variées aussi selon les matières employées. L'artiste chargé de ce travail se nomme dessinateur-metteur en carte; ses connaissances doivent être très-étendues; non-seulement il est bon dessinateur, mais il connaît la machine Vaucanson dans tous ses détails et effets, ainsi que les divers modes d'empoutages ou groupes de fils qui communiquent les mouvements du vaucanson aux fils de la chaîne qui doit être tissée.

« Si le hasard suffisait pour faire du tissu, on l'aurait su bien avant M. Bonelli; les metteurs en carte seraient tous bons, on ne distinguerait pas les Berrus frères et quelques autres, on ne les décorerait pas aux expositions pour leurs savantes et artistiques compositions.

« On a, et on aura toujours la mise en carte, parce qu'il est impossible de ne pas assigner d'une manière fixe et raisonnée, le rôle de chaque fil; qu'il est impossible de faire ce travail à main levée et au hasard, mais au contraire dans des conditions arrêtées, de divisions et subdivisions, ayant un rapport déterminé avec la machine chargée de transmettre ce que l'artiste a fait par un admirable moyen de toucher sans l'action de la vue. On pourra modifier la mise en carte, mais il en faudra toujours une.

« Par le système Bonelli, le vernissage sans guides ou points arrêtés et en rapport avec le nombre des fils de chaîne et de trame, c'est le tissage au hasard ; or, pour éviter des répétitions, nous renvoyons à la communication de M. Carpentier : il condamne ce mode de tissage. Donc la mise en carte est chose indispensable. Maintenant, veut-on l'accepter, et vernir sur quadrillage ? ce ne sera assurément pas moins coûteux ; au surplus, nous avons déjà établi combien l'action de l'électricité est incertaine, et le fût-elle, qu'il n'y aurait pas économie ; en effet, le damassé auquel on l'applique en ce moment, est un tissu qui ne ne comporte jamais beaucoup de cartons, et l'intérêt de l'achat de l'appareil Bonelli, et l'amortissement du capital, l'emporte généralement sur le chiffre qu'on propose d'économiser. Par quelque bout qu'on prenne cette question, on n'y trouve rien d'utile.

« C'est dans les tissus qui exigent de grandes quantités de cartons, que la suppression du lissage et du piquage aurait de l'importance, dans les châles et autres tissus à plusieurs couleurs. Mais alors surgit une bien grande difficulté, et aussi glisse-t-on avec un soin tout paternel sur cette question de couleurs, et de leur distribution ; nous voilà en face du *translatage!* c'est-à-dire que s'il y a douze couleurs dans le tissu, chaque ligne du dessin donne lieu à une décomposition appelée *translatage*, de douze lignes ! Formées de points le plus souvent séparés, une sorte de petite mosaïque d'un millimètre de surface pour chaque carré ! voilà le moyen par lequel on évitera la lecture sur le semple ou groupe de ficelles représentant la chaîne ! C'est-à-dire qu'une telle peinture serait dix fois plus coûteuse que ce qui se pratique aujourd'hui ; il n'y a qu'à signaler ce fait aux hommes compétents en tissage, pour qu'ils soient fixés sur la valeur du moyen.

« A cela, on répondra que M. Bonelli a imaginé un moyen

pour opérer tout naturellement le translatage ! Ce doit être bien joli ; voyons ce que c'est.

« Ce moyen consiste dans la composition d'une sorte de planche formée de petits prismes à base carrée, comme des caractères d'imprimerie ; il y en aurait de diverses hauteurs et correspondraient à autant de couleurs ; puis, une sorte de peigne, composé de 4 à 1,200 tringles ou baguettes, mobiles dans le sens vertical, rendues conductrices sur un point, vient se poser au-dessus d'un rang des prismes de la planche. Dans cet état, toutes les tringles du peigne dont nous parlons reproduisent la silhouette de la ligne des prismes sur lesquels elles posent ; alors un autre peigne, dont les dents ou contacts sont sur une seule ligne, vient s'appliquer contre les points de transmission des tringles qui sont à diverses hauteurs ; ce deuxième peigne parcourt tous les points de contacts des tringles.

« Je le demande, entrevoit-on là une économie ? Et ensuite cette lourde planche de caractères d'imprimerie, moins l'œil formant les lettres, tout cela est-il praticable ? Mais il y a pire, la monomanie de l'électricité est telle chez l'inventeur, comme chez beaucoup de gens en ce temps, qu'il n'a pas vu l'inutilité, la superfluité de l'électricité ! En effet, les caractères seuls suffisent pour produire un effet mécanique par leurs saillies et commander les mouvements d'aiguilles convenablement disposées ! — Ce ne serait pas une bonne chose, et d'ailleurs le moyen a été imaginé et breveté par quelqu'un autre, il y a longtemps ; on ne s'en sert pas.

« Eh bien, il en est de même de tous les autres moyens imaginés par M. Bonelli : tout ce qu'il propose peut être fait sans le concours de l'électricité ; mais alors le merveilleux n'existerait plus, l'agent à la mode n'étant plus de la partie.

« C'est pour cela qu'on le fait intervenir à tout prix pour

captiver l'attention publique. Pauvre électricité! Comme elle doit s'étonner de se trouver en compagnie d'une mécanique qui a tout ce qu'il faut pour agir sans elle! »

ACKLIN.

Écoutons maintenant M. Gand dans un article publié le 2 mars 1856, dans le *Courrier de la Somme :*

« M. Bonelli a résolu, dit-on, le merveilleux problème de substituer l'électricité aux cartons Jacquart, en se servant d'une simple feuille de papier, sur laquelle le dessinateur trace, à l'aide d'un vernis, le dessin qui doit être reproduit au tissage. Il recouvre ensuite ce dessin d'une mince feuille d'étain qu'on frotte, après le fixage du métal au vernis, pour enlever l'étain dans les endroits non vernissés. On obtient donc, sur le papier, la reproduction du dessin en une légère *couche métallique,* et, par conséquent, conductrice de l'électricité. Au contraire, le fond demeure *simplement formé de papier,* c'est-à-dire, d'une substance non conductrice de l'électricité.

« Voici donc une espèce de carte composée de deux parties plates, ou *plaquées* sans *liage,* l'une représentant une couche métallique, l'autre un fond simplement formé de papier. Où cela va-t-il nous conduire? à obtenir des crochets immobiles là où se trouve le papier seul, non conducteur, et des crochets soulevés là où se trouve le dessin métallisé ou conducteur. « De cette façon la navette passe, dit l'auteur, et l'on voit se reproduire avec la plus grande exactitude dans l'étoffe, le dessin figuré sur le papier.

« Voilà qui nous paraît extraordinaire. En effet, si le dessin est représenté par une couche de métal sur un fond de papier simple, cela donne à penser que pour une ligne transversale d'un demi-millimètre, correspondante à un coup de cylindre ou à un coup de navette, il pourra y avoir, suivant les caprices du dessin, des espaces de 40, 60 fils de

chaîne (et même plus), levés par les *plaqués* métallisés, tandis que des quantités analogues seront laissées par les *plaqués* de fond du papier. Comment, alors, peut-on admettre qu'en passant, la navette puisse *reproduire avec la plus grande exactitude le dessin figuré sur le papier?* Mais on n'aura évidemment que d'affreuses *brides* de trame et de chaîne, *flottées* au-dessus et au-dessous de l'étoffe.

« Où seront les sergés et les satins, armures fondamentales destinées à lier et à consolider le tissu? Si la fleur doit être composée de satinés, de sergés plus ou moins ouverts, de losanges, de briquetés, de fondus, etc., etc., toutes combinaisons charmantes, qui concourent à l'effet du dessin, comment les exécuterez-vous avec vos couches *plates* métalliques? Si votre fond doit être un tissu tout à fait différent de celui de vos fleurs, soit un batavia, un zigzag, un pointillé, un sablé, un grain de poudre, etc., etc., comment obtiendrez-vous ce tissu avec la partie également plate, de votre papier simple?

« Il est vrai que vous pouvez adjoindre à votre métier, un assemblage de lisses, destiné à produire, par *levés* et *rabats*, le tissu de l'étoffe. Mais alors, pourquoi ne pas le dire? Pourquoi laisser le lecteur dans l'ignorance à ce sujet? Pourquoi ne pas lui avouer que vous n'obtenez, par ce procédé additionnel, que des étoffes non-seulement simples, comme les linges de table, les damas, etc., mais que vous n'avez pour résultat que des fleurs faites par le satin d'envers de votre étoffe, ou par un armure uniforme, congénère ou multiple de ce satin d'envers? Pourquoi ne pas lui apprendre que vous êtes condamné à compliquer énormément le montage de votre métier, pour aboutir à quoi? aux étoffes les plus élémentaires.

« M. Figuier nous pardonnera d'avoir comblé la lacune que nous venons de lui signaler.

« Si, maintenant, l'on veut obtenir le fini, l'aspect sédui-

sant des étoffes *savantes*, c'est-à-dire, des étoffes produites par d'ingénieuses combinaisons d'armures, il faudra (et je défie M. Bonelli d'éluder la difficulté sans se soumettre aux conditions qui suivent), il faudra qu'il exécute un *pointé d'armure* sur la partie métallisée et aussi un *pointé de fond* sur la partie du papier simple. Cette exécution exigera un papier quadrillé d'avance; et alors, nous nous demandons quelle sera la largeur du papier employé, pour que ce quadrillé offre des carrés sur lesquels le metteur en papier puisse facilement opérer la *mise à la corde?* Il faudra un cylindre d'au moins 80 centimètres de large pour 600 carrés d'un papier *moyen*, c'est-à-dire d'une laize généralement admise. Mais, alors, comment M. Bonelli parviendra-t-il à obtenir une précision telle qu'une ligne d'un millimètre et demi de hauteur, de 80 centimètres de longueur, et composée de 600 petites divisions dans la largeur, puisse venir se placer toujours, rigoureusement, mathématiquement devant les dents du peigne conducteur, de façon à ce que chaque petite division arrive juste en regard de sa dent correspondante?

« Il est vrai que le cylindre métallique sera fort peu sensible aux influences atmosphériques; mais il n'en sera pas de même pour le papier qui passera dessus, car il se gondolera ou se rallongera dans le sens de sa laize lorsqu'il sera travaillé par l'humidité. Alors, plus de concordance entre le papier et les dents du peigne. Alors, confusion et désordre dans l'étoffe.

« Nous demandons une réponse immédiate à l'objection qui précède.

« Elle n'est, d'ailleurs, pas la seule. Laissons parler M. Figuier : « Un avantage très-important que réalise le métier électrique, c'est la possibilité de tisser, par ce système, des étoffes de toutes qualités. Un régulateur qui règle avec une exactitude parfaite, et toute la variété possible, la quantité

dont avance le dessin à chaque *duite*, c'est-à-dire à chaque passage de trame, permet, sans changer de dessin, de varier indéfiniment la nature de l'étoffe. »

« A cela nous répondrons : Oui, on pourrait peut-être tirer profit de cette idée dans certains articles dont les dessins sont faits (condition *sine quâ non*), avec addition de lisses, dessins souvent grossiers, et à la pureté des contours desquels on attache fort peu d'importance. Mais, il ne peut plus être question de ce changement de réduction, opéré par le régulateur, pour un dessin qui aura d'abord été exécuté avec armures, pour un dessin, en un mot, que le dessinateur aura *écrit* par *décochement* sur des lignes de petits carrés, dont la quantité, en hauteur, *égale le nombre* de duites à passer dans l'étoffe. Ici, l'avantage que M. Figuier qualifie de *très-important*, nous paraît au contraire très-insignifiant, puisqu'il ne s'étend pas au delà d'un genre très-limité de fabrication.

« Mais les objections qui précèdent ne sont que secondaires comparativement à celles qui suivent. Continuons donc :

« Parmi les avantages généraux résultant de l'emploi de l'électricité, avantages nombreux, suivant M. Figuier, il en est un que nous ne saurions admettre : « La mise en carte, « opération *difficile, coûteuse* et *compliquée*, est remplacée, « dit-il, par la simple exécution d'un dessin métallique sur « papier. Les *innombrables* cartons du métier Jacquart « sont supprimés. Un agent sûr et docile, l'électricité se « trouve seul mis en jeu. La traduction et le lissage du « dessin deviennent inutiles..... Au lieu des dépenses « qu'entraîne la traduction si compliquée du dessin sur « les cartons et le forage de ces cartons, on n'a donc « plus, avec le métier électrique, que celle de l'execution « du dessin métallique. »

« Puisque M. Figuier trouve la mise en carte si difficile, si coûteuse et si compliquée, je lui demanderai pourquoi

M. Bonelli est obligé de revenir à cette mise en carte pour les dessins qui nécessitent plusieurs trames consécutives, de couleurs différentes, car son système de commutateur à composteur (qui a été décrit page 10) exige, pour être confectionné, un dessin *encarté :* or, qu'est-ce qu'un dessin *encarté?* si ce n'est une mise en carte véritable, un *patron* préalablement fait, dans le but d'indiquer à quel endroit une cheville 1° de telle hauteur, 2° de telle couleur, 3° de telle largeur, devra être prise dans la casse, et à quel endroit aussi on devra la placer dans le composteur?

« Si la largeur de ces chevilles varie de 2 à 10 millimètres, cela veut dire évidemment que pour une même couleur, il y aura cinq largeurs différentes : 2, 4, 6, 8, 10. Or, pour six couleurs, cela fera 30 espèces de chevilles, à raison de cinq pour chaque couleur. Il faudra donc 30 cassetins; à moins qu'on ne veuille, pour n'employer que 6 cassetins, condamner le *liseur-compositeur* au supplice du triage des largeurs dans chaque cassetin représentant une couleur spéciale.

« Voilà qui se complique singulièrement; mais n'est-ce pas tout?

« *Mettons en composteur,* maintenant, d'après la mise en carte, car la mise en carte que répudie M. Figuier, et qu'il trouve si difficile, si coûteuse et si compliquée, est réhabilité en ce moment. Voyons! prenons un dessin de châle de 12,000 coups de navette, exécuté par une seule mécanique de 600 (soyons raisonnable).

« Or, 12,000 duites, à raison des 6 duites fractionnées dont se compose chaque duite totale, représenteront sur la mise en carte, et par conséquent sur le composteur qui est la traduction fidèle de cette dernière, représenteront, disons-nous, 2,000 lignes horizontales de petits carrés sur la carte, de petites chevilles dans le composteur, chaque ligne contenant les six couleurs. Multiplions 2,000 par 600, nous au-

rons 1,200,000 carrés qui devraient nécessiter la mise en composteur de 1,200,000 chevilles, si ces chevilles étaient toutes de 2 millimètres. Supposons qu'il y ait une quantité de largeurs variées telle que la moyenne des chevilles à prendre dans les cassetins, soit de 1 million ; eh bien ! nous demandons à M. Figuier combien un metteur en composteur emploiera de temps à exécuter ce prodigieux travail qui, au surplus, n'est qu'une modification de celui imaginé par M. Maumené, de Reims? Nous demandons encore quel sera le temps dépensé lorsqu'il s'agira de dessins nécessitant, ainsi que le signale M. Figuier, 60,000 coups de navette ou 10,000 lignes horizontales dans le composteur? Il faut ici répondre carrément, sans ambages, et sans retard. Il est temps, comme nous l'avons déjà dit, que le public soit fixé sur la valeur d'un procédé dont on ne cesse de l'entretenir depuis trois ans.

« Finissons par quelques questions adressées à MM. Bonelli et Louis Figuier.

« Nous demanderons si M. Bonelli aura aussi recours à l'emploi du composteur, pour les étoffes exécutées sur des métiers montés à plusieurs *corps d'arcades?*

« Nous demanderons si, lors du tissage, l'opération du triage des couleurs au moyen de tiges réunies dans une pièce spéciale, tiges qui, appuyées préalablement pour chaque coup de navette par leurs extrémités inférieures sur le plan inégal formé par les chevilles, offrent six étages différents de lignes qui doivent s'appliquer successivement sur une lame conductrice afin de déterminer les six passages de duites diversement coloriées, nous demanderons si cette opération délicate, non-seulement ne ralentira pas infiniment le tissage, mais encore ne sera pas le sujet de mille embarras pour l'ouvrier?

« Nous demanderons encore pourquoi M. Figuier considère comme insignifiante ou de peu de valeur l'objection

qui se fonde sur la substitution du papier percé de trous, aux cartons Jacquart ? «Cette objection tombe d'elle-même, dit-il, lorsqu'on réfléchit qu'il n'y a dans cette substitution qu'une économie de matière. En effet, le papier nécessite aussi bien que le carton, la mise en carte, le lisage et le piquage; la main-d'œuvre est la même sauf l'enlaçage des cartons. Or, le système électrique supprime précisément tout ce travail préliminaire en même temps que le carton, et c'est là son plus grand avantage. »

« Si M. Figuier avait lu les ouvrages de MM. Becquerel, et Du Moncel, il ne dirait pas que le système électrique supprime tout le travail préliminaire, ou du moins il ne généraliserait pas ses conclusions.

«Quant au papier, nous considérons son emploi, au point de vue de l'économie, comme un grand progrès réalisable dans le tissage. Cette économie peut être de 90 pour 0/0. Elle vaut la peine d'être prise en considération, surtout pour les articles tapis, moquettes, gilets, châles, écharpes, et enfin pour toutes les étoffes à plusieurs corps ou à plusieurs trames qui, dans le système Bonelli, nécessitent, comme dans celui de Jacquard, l'exécution d'une mise en carte préalable. Il s'agit, bien entendu, d'un papier très-étroit en laize.

« Nous demanderons si le composteur sera dégarni de ses chevilles quand un dessin sera à remplacer par un autre, et si, alors, il faudra des ouvriers *distributeurs* pour remettre les chevilles en case, comme on distribue les lettres dans la typographie?

« Nous demanderons quelle place vont occuper, dans un atelier de 60 ou 80 métiers, tous ces composteurs, plus grands que les cartes, toutes ces tiges de peignes, tous ces peignes conducteurs, tout cet attirail enfin, qui ne forme, en définive, qu'un accessoire de la Jacquart?

«Nous demanderons enfin, et surtout, quelle quantité de

temps exigent : 1° l'encartage du dessin (pour me servir de l'expression de M. Figuier); 2° la lecture de ce dessin ou la mise en composteur des chevilles, c'est-à-dire, la prise en case, le choix des longueurs, le choix des largeurs, toutes choses qui nécessiteront une bien grande habitude et un *doigté* spécial?

« Si l'on nous répond, preuve en main, nous comparerons le temps qu'exige cette série d'opérations au temps nécessité par celles actuellement en usage. S'il est inférieur en durée, si les difficultés sont reconnues comme simplifiées, nous passerons condamnation. Mais, s'il en est autrement, nous combattrons à outrance tout système qui ne détrônerait pas victorieusement celui adopté.

« Une dernière demande : Pourquoi le métier Bonelli, qui fait tant de bruit depuis si longtemps, est-il arrivé le dernier à l'Exposition Universelle? D'où vient cette espèce de désertion? Aurait-il craint les regards d'une multitude trop compétente ou trop sévère? Explique qui pourra ce retard! »

AUTRES APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

Métier électro-magnétique pour filer la soie de M. A. Achard. — Pour pouvoir apprécier le but que s'est proposé M. Achard dans cet appareil, il est important de dire quelques mots sur la manière dont on file la soie et sur les difficultés que présente ce filage.

La soie peut être filée à 6, 8, 10 ou 12 brins et même plus. Pour cela, on place les 6, 8, 10 ou 12 cocons qui la fournissent dans une bassine remplie d'eau chaude, et après avoir réuni les brins ensemble, on les fait passer à travers un système particulier de poulies qui a pour but de serrer fortement les brins les uns avec les autres avant leur enroulement définitif sur le dévidoir. Ce système de serrage consiste simplement dans deux petites poulies ou tavelles

placées parallèlement l'une à côté de l'autre et sur lesquelles passe le fil qu'on dévide. Après avoir circulé autour de ces poulies comme une courroie d'engrenage, le fil vient s'entortiller sur lui-même et par ce seul fait se trouve considérablement serré au moment où il est tiré par le dévidoir.

Les métiers à filer la soie sont donc assez simples en apparence, mais dans la pratique il n'en est plus de même; car ils nécessitent, pour chacun d'eux, la présence de deux personnes, l'une occupée à faire marcher le dévidoir, l'autre à remplacer les cocons dont les brins se cassent. Pour opérer cette substitution, l'ouvrière qui a devant elle un certain nombre de cocons pendus par leur brin et convenablement mouillés, lance le brin d'un de ces cocons, qu'elle tient d'avance dans la main, contre le faisceau qui se dévide, et par l'action de la substance gommeuse dont le cocon ainsi humecté est imprégné, ce brin se trouve suffisamment collé. Or, il est facile de comprendre combien ce soin est minutieux et combien il exige de dextérité de la part de l'ouvrière qui en est chargée; aussi le plus souvent il arrive que les brins cassés ne sont pas remplacés spontanément, ce qui entraîne des défauts dans le tissu, qui se traduisent par des peluches du plus déplorable effet. M. Achard se rappelant que par l'intermédiaire de l'électricité on pouvait produire, à l'aide d'une force initiale infiniment petite, une force considérable, a pensé qu'on pourrait opérer mécaniquement cette substitution, et il a en effet construit dans ce but un métier excessivement ingénieux qui a réalisé complétement ses espérances.

Le jeu de cet appareil est fondé sur une réaction électrique particulière qui s'obtient au moyen de l'embrayeur à mouvement alternatif que nous avons décrit page 313 (1er vol.)

Dans les métiers de M. Achard, A fig. 7, pl. I, les cocons sont placés dans une bassine de cuivre divisée en 6, 8,

12 compartiments, suivant la grosseur qu'on veut donner au fil de soie, et contenant de l'eau chauffée à une température convenable. Les brins s'élèvent verticalement pour passer à travers une filière C, fixée juste au-dessus du centre de la bassine, et à travers l'axe creux d'une petite roue d'engrenage E; c'est à leur passage à travers cette filière qu'ils se collent les uns contre les autres pour ne former qu'un seul et même fil qui se dirige, au sortir de l'axe creux, sur les tavelles ou lissoirs, dont nous avons parlé, et où s'opère la croisade à la manière ordinaire.

Chaque brin de cocon, en se dévidant, appuie sur une petite bascu e verticale D, placée dans une position très-voisine de l'équilibre instable, de sorte que le brin forme un angle très-ouvert du côté du centre de la bassine. Chaque bascule D, peut tourner autour d'un axe horizontal F, et retomber en avant en s'éloignant du centre de la bassine pendant que son bras inférieur tombe en arrière du côté du centre.

Les cocons qui doivent remplacer ceux qui se dévident au fur et à mesure que leurs brins se rompent, sont étalés sur une chaîne sans fin horizontale G. Chacun de leurs brins est entortillé à un crochet faisant corps avec une autre chaîne sans fin également horizontale H, laquelle au moment de la réaction, s'avance en même temps et d'une même quantité que la première.

Lorsque l'un des brins de cocons qui se dévident vient à se rompre, la bascule qu'il tenait droite, tombe en avant dans la position D″. Le petit bras D′ de cette bascule tombe en arrière et va appuyer contre le contact I, ce qui établit un courant électrique et met en jeu l'embrayeur électrique.

Celui-ci est articulé en B^2 et reçoit son mouvement par l'intermédiaire d'un système de levier $F^2 G^2$, mis en rapport avec le moteur et réagissant sur le levier D^2 de l'embrayeur.

Ce levier D^2 est précisément celui des deux leviers de cet organe électrique qui porte l'armature E^2 de l'électro-aimant. L'autre levier A^2, sur lequel ce dernier est fixé, se continue en O pour s'articuler d'un côté à un levier mobile H^2, et à une tige P, dont nous verrons bientôt la fonction. Il résulte de cette disposition que, quand par l'effet de la fermeture du courant, l'électro-aimant C^2 se trouve collé sur l'armature E^2, les leviers O et P participent au mouvement du levier D^2, le premier, en donnant à une règle K à laquelle il est relié par le levier H^2, un mouvement de va-et-vient de gauche à droite et de droite à gauche, le second, en faisant opérer un mouvement semblable à la règle Q.

C'est la règle K qui porte le système mécanique L d^3, c^3, h^3, f^3, g^3, qui est destiné à saisir le brin de cocon entortillé au crochet M, à le couper, à le porter contre ceux qui se dévident, à le mettre en contact avec eux par la pointe, à lâcher ce brin, et à revenir à la position L après avoir collé ce nouveau brin aux autres. Ce système que l'on voit développé en K L′ au moment où le cocon de rechange est collé et qui est figuré sur le dessin en pointillé sera décrit plus tard.

Lorsque la règle K, après s'être transportée en avant, revient à sa position de repos, son extrémité K″ fait tourner d'un sixième de révolution une roue à rochet N, ce qui fait avancer la chaîne sans fin, H de manière à amener en M un nouveau crochet et le brin de cocon qui s'y trouve suspendu; en même temps un bras articulé à la tige *o* fait avancer de la même quantité la chaîne G. De sorte qu'un nouveau cocon se trouve suspendu par son brin au crochet M et trempe dans la bassine, en attendant qu'une nouvelle rupture ait lieu parmi ceux qui se dévident; auquel cas il sera saisi à son tour, coupé, transporté et collé contre les autres comme nous avons déjà expliqué.

Pendant que la règle K accomplit son mouvement en re-

tour, la règle Q qui porte un cliquet d'impulsion à son extrémité Q′, fait tourner d'un sixième la roue à rochet R, laquelle transmet son mouvement à la roue d'engrenage S qui fait, à son tour, faire un tour entier au pignon E et par suite au chariot T. Celui-ci entraîne alors le nouveau brin collé pendant qu'il se dévide et le lâche à la place du cocon dont le brin vient de se rompre.

D'un autre côté, en même temps que la règle Q fait tourner la roue à rochet R, la pièce U fixée à cette règle Q, pousse le bras V qui fait baisser le segment à engrenage X. Celui-ci, à son tour, abaisse la crémaillère Z et par suite le conctact I, qui fait relever le bras D′ de la bascule et la ramène à sa position d'équilibre instable. Le brin de cocon appuyant sur la bascule relevée ne doit produire que la force nécessaire pour la tenir dans une position très-voisine de cet équilibre instable. La pièce U, continuant son mouvement horizontal, ne tarde pas à appuyer sur le bras V′ du cliquet V″ qui lâche la crémaillère et lui permet de remonter. Par suite, le contact qui était à la position I′ remonte à la position I. Les choses se trouvent ainsi rétablies dans leur état primitif.

Nous allons maintenant étudier avec détail les différentes parties de cette machine.

D'abord pour que l'embrayeur, une fois son effet mécanique accompli, puisse revenir au repos dans sa position initiale, un système rhéotomique est indispensable. Ce système peut être combiné de la manière suivante :

L'armature E^2 doit décrire une oscillation un peu plus grande que celle que peut parcourir l'électro-aimant. Ce dernier, un peu avant la fin de son oscillation, bute contre la pièce I^2, et la repousse jusque contre la pièce K^2 qui est fixe. Le mouvement de la pièce I^2 fait abaisser le segment X et par suite la crémaillère Z et le contact I qui ne touchera plus qu'une partie de la bascule D′, cette partie étant isolée

par un petit morceau d'ivoire qui lui est adapté depuis le point *a* jusqu'au point *b*; ce circuit se trouve ainsi interrompu au moment même où l'électro-aimant est retenu par les deux pièces I^2 et K^2 qui lui opposent une résistance invincible. L'armature continuant son oscillation lâchera nécessairement l'électro-aimant, malgré la force d'adhérence qui subsiste ordinairement après l'interruption du circuit électrique.

Lorsque l'armature a fini son oscillation en arrière, elle en recommence une autre en sens inverse; elle atteint bientôt l'électro-aimant qui était retenu contre la pièce K^2 et le pousse devant elle (avec toute la force du moteur qui lui est appliqué) jusqu'à sa position de repos. C'est pendant ce second mouvement de l'électro-aimant que la règle K revient à sa position de repos et que tous les mouvements que nous avons indiqués s'effectuent; savoir : celui des deux chaînes, celui du chariot qui porte le cocon à la place de celui dont le brin s'est rompu, celui de la crémaillère qui fait abaisser le contact I pour relever la bascule qui était tombée.

Lorsque l'armature a repoussé l'électro-aimant jusqu'à sa position de repos, cette armature recommence une nouvelle oscillation et laisse l'électro-aimant à sa place, car il n'y a plus d'adhérence entre ces deux pièces puisque le circuit électrique n'existe plus.

Examinons maintenant comment la chute d'une des bascules D suffit pour rétablir le circuit électrique.

M^2 et N^2 sont les deux fils métalliques qui aboutissent à la pile, laquelle peut être placée, soit à proximité, soit à distance. Le fil M^2 est soudé à une rondelle de cuivre emmanchée sur l'arbre B^2. Cette rondelle appuie contre une autre à laquelle est soudée l'extrémité du fil o^2 aboutissant à l'une des bobines de l'électro-aimant; l'extrémité du fil en quittant la seconde bobine se rend à un bouton métal-

lique Q^2 posé sur un morceau d'ivoire adapté au bras A^2, suit le fil qui aboutit au contact I, pénètre dans le bras D′ de la bascule, parcourt l'arbre horizontal, puis le support, le fil qui lui est soudé jusqu'au point S^2 où il est en contact avec le fil N^2 qui aboutit à l'autre pôle de la pile.

On comprend que lorsque la bascule D est relevée, que la tension du fil qui se dévide la tient dans la position d'équilibre instable, le contact I ne touche pas le bras D′, et que le circuit électrique est interrompu entre le point I et le bras D′.

On comprend aussi par l'inspection de la partie S^2 U^2 X^2 T^2 que lorsque le fil de soie formé de l'ensemble des brins réunis vient à se rompre, la bascule T^2 U^2, basée aussi sur le principe de l'équilibre instable, retombe en arrière et que son petit bras U^2 fait cesser le contact entre le fil R^2 S^2 et le fil N^2 S^2, ce qui interrompt le circuit, et empêche la machine de fonctionner, bien que toutes les bascules soient tombées et appuient sur leurs contacts. Cet effet aura lieu jusqu'à ce que l'ouvrière fileuse ait rétabli le bout principal et fait marcher l'asple ou dévidoir, qu'on n'a pas figuré ici parce qu'il est construit comme tous les autres déjà connus.

Il est temps de décrire le mécanisme qui saisit le brin du cocon, le coupe, le transporte contre ceux qui se filent, et le colle à leur ensemble.

Au bout de la règle de fer K qui glisse dans les deux coulisses a^3, et perpendiculairement à la longueur de cette règle, se trouve établi un arbre de rotation b^3 (fig. 8, pl. I). A l'une des extrémités de cet arbre, en dehors de la règle, est adapté solidement un morceau de cuivre dont partie a la forme cylindrique représentée en L (fig. 7), creusée comme la gorge d'une poulie, partie à la forme d'une fourche dont l'angle aboutit à la gorge de poulie. Dans la fig. 7, l'une des branches de la fourche efface l'autre; dans la

fig. 8, elles sont vues par-dessus et sont indiquées par la lettre C^3. Cette pièce cylindrique ou fourche peut tourner avec l'arbre b^3 au-dessus duquel elle est solidement fixée. A l'arbre b^3 se trouve adapté un bras d^3 articulé avec un autre bras articulé à son tour sur un troisième f^3 pouvant tourner autour d'un axe fixe. Le bras e^3 se prolonge et vient s'engager dans une courbe au moyen d'un petit tourillon rivé ou vissé à son extrémité. La partie de la courbe comprise entre h^3 et h'^3 est formé d'un arc de cercle décrit du centre g^3. g^3, h'^3 est une autre courbe. Lorsque la règle K s'avance pour prendre la position K′, le petit tourillon de l'extrémité e^3 commence par parcourir la courbe h^3, h'^3; pendant ce premier mouvement le bras d^3 imprime un mouvement de rotation à la fourche L. Mais sitôt que le tourillon est engagé dans la courbe h'^3 g^3, ce mouvement de rotation cesse et la fourche continue à s'avancer sans tourner, cette dernière courbe étant construite en conséquence.

Reste à expliquer les mâchoires qui, pendant les mouvements de translation et de rotation simultanés de la fourche L, doivent saisir le brin de soie, le couper, le porter contre ceux qui se filent et le lâcher.

Sur l'arbre b^3, et en dehors de la règle K, on a fixé une rondelle b^2 pouvant glisser longitudinalement sur l'arbre tout en tournant avec lui; cette rondelle est percée d'un trou carré pour donner passage à une pièce aussi carrée K^3 qui traverse aussi par un trou carré le cylindre de la fourche en cuivre L. L'une des extrémités de cette pièce carrée K^3 est taillée en forme de mâchoire fendue par le milieu, comme on le voit dans la fig. 9; l'autre extrémité est armée d'une articulation pouvant s'ouvrir seulement pendant le mouvement de rotation en arrière; pendant le mouvement en avant elle reste fermée et appuie contre un excentrique fixe qui force la pièce K^3, tout en tournant, à s'avancer parallèlement à la longueur de l'arbre b^3 jus-

qu'au milieu de la gorge de la partie cylindrique de la pièce L. Un ressort à boudin c^2, fixé contre la face intérieure de la pièce L, tient cette première mâchoire ouverte à distance de la gorge, lorsque la pièce L est à son état de repos.

Une autre mâchoire f^3 peut aussi s'avancer jusqu'au milieu de la gorge du cylindre en décrivant un arc de cercle autour de l'arbre m^3. La tige inférieure de cette deuxième mâchoire est articulée en dessous avec la rondelle traversée par la pièce carrée K^3, de sorte que lorsque cette dernière s'avance vers le centre de la gorge de la pièce L, la mâchoire f^3 s'avance aussi d'une même quantité et toutes les deux viennent se serrer juste au milieu de la gorge. La petite pièce en saillie de la mâchoire f^3 s'avance dans la fente de la mâchoire de la pièce K^3 pendant que le fil est tenu des deux côtés, et le fait casser ou couper au milieu. La pièce carrée continuant à tourner contre l'excentrique n^3, finit par l'échapper; alors les deux branches de la mâchoire s'ouvrent simultanément par l'effet du ressort à boudin c^2.

Le mouvement en retour de la pièce L s'effectuant, la pointe articulée de la pièce K^3 bute contre la face extérieure de l'excentrique et s'ouvre en avant; elle repasse ainsi, tout ouverte, sur l'excentrique n^3 sans faire serrer les mâchoires et revient se placer dans la position indiquée par la fig. 8 où elle se referme sous l'action d'un petit ressort o^3.

Reste enfin à indiquer comment le chariot T transporte le cocon nouvellement collé avec les autres, tout autour de la bassine, et le lâche dans le compartiment de celui dont le brin s'est rompu.

La fig. 9 représente ce mécanisme vu en plan par-dessous; p^3 est un petit levier qu'un petit ressort tient levé; ce levier est relié avec un autre q^3 par une double articulation; lorsque l'on appuie sur le levier q^3 en avant, il cède et fait

abaisser le premier p^3. Lorsque le chariot commence sa rotation, le levier p^3 entraîne le brin de cocon tout autour de la bassine; lorsqu'il est parvenu en face du compartiment dont le brin est rompu et la bascule renversée, le levier q^3 rencontre cette bascule et en s'infléchissant fait infléchir à son tour le levier p^3 qui lâche le brin lequel se rend dans ce compartiment avec le cocon tout en continuant de se dévider; le levier q^3 échappe la bascule, continue sa rotation entière et revient se placer contre le brin nouveau qu'a amené la chaîne sans fin, le petit ressort r^3 ayant ramené le levier p^3 à sa position de repos.

Électro-trieur de M. Chenot. — Si l'on considère que certains oxydes métalliques peuvent devenir magnétiques par le *grillage* ou la réduction et que, dans cet état, ils peuvent être séparés mécaniquement des corps plus ou moins composés auxquels ils sont unis, on peut comprendre de quelle importance devient alors l'action électro-magnétique appliquée comme un réactif chimique, et combien il devient facile de simplifier les opérations métallurgiques, surtout pour les minerais dits en *grain* qui sont les plus riches en métal.

Pour établir en grand ce système de triage, M. Chenot a imaginé deux appareils auxquels il a donné le nom d'électro-trieurs et qu'il a fait breveter.

L'un de ces appareils consiste dans une roue verticale dont la circonférence est garnie d'électro-aimants en rapport avec un commutateur fixé sur son axe. Ce commutateur est tellement disposé, que trois de ces électro-aimants au plus, reçoivent en même temps le courant, et cela, quand ils se trouvent dans une position donnée. Aussitôt qu'ils ont abandonné cette position, ils deviennent inactifs et, par conséquent, peuvent abandonner les corps magnétiques qu'ils ont attirés. (Voir la fig. 17, pl. I.)

Cette roue, ainsi munie d'électro-aimants, tourne au-

dessus d'une toile métallique enroulée sur deux cylindres sur laquelle vient tomber le minerai en poudre qu'on veut exposer à l'action électro-magnétique et qui est en provision dans une trémie A. Au moment où cette poudre vient à passer à portée des électro-aimants actifs, ceux-ci attirent toutes les matières magnétiques, les transportent au-dessus d'un plan incliné de décharge et, comme ils deviennent alors inertes, ils les laissent retomber, tandis que les matières non magnétiques ont été rejetées dans une seconde trémie placée en arrière. De cette manière, la séparation des parties magnétiques du minerai s'effectue d'une manière continue et très-prompte.

Dans l'autre système de M. Chenot, la séparation magnétique ne s'opère que sous l'influence d'aimants fixes dans lesquels le courant électrique est toujours en activité ; c'est alors un ramasseur que l'on fait tourner qui se charge du transport des substances magnétiques attirées.

On comprend facilement que ces systèmes d'appareils peuvent être appropriés à la séparation des limailles métalliques mélangées, par exemple à la séparation de la limaille de fer ou de fonte d'avec la limaille de cuivre, de sorte que ce procédé peut être considéré comme un moyen de séparation, de purification et de classification d'un certain nombre de corps.

Électro-métreur de M. Chenot. — Cet instrument destiné à servir à la fois de jaugeur, de manomètre et de thermomètre pour les chaudières à vapeur ou toutes autres chaudières contenant un liquide conducteur, est fondé sur ces deux principes admis par l'auteur : 1° qu'un courant électrique ne peut naître sur deux métaux différents voisins l'un de l'autre, qu'autant qu'un liquide conducteur se trouve interposé entre eux et les mouille ; 2° que le développement du courant électrique, dans ce cas, augmente avec la chaleur du liquide.

D'après cela, on comprend que si l'on dispose à travers une chaudière à vapeur un tube de cuivre dans lequel se trouvera un tube beaucoup plus petit de zinc, on pourra, si les deux tubes sont suffisamment isolés, et si l'on a ménagé sur le premier quelques trous, pour permettre à l'eau de la chaudière de mouiller les deux métaux, on pourra, dis-je, obtenir un couple voltaïque ayant ses deux pôles et pouvant, par conséquent, agir sur un galvanomètre ou tout autre moyen indicateur. Admettons donc que les tubes précédents se trouvent disposés un peu au-dessous du niveau que l'eau doit avoir dans la chaudière : il arrivera deux choses : d'abord, le courant électrique sera établi à travers le galvanomètre, puisque les deux métaux seront immergés, et l'aiguille de l'indicateur prendra une position qui correspondra au degré de température de l'eau; en second lieu, la déviation augmentera à mesure que l'eau s'échauffera. Tant que l'aiguille sera déviée, on sera donc prévenu que l'eau de la chaudière est au-dessus de son niveau minimum; mais si l'aiguille vient à descendre, on saura aussitôt que l'eau ne mouillera plus le zinc et que le niveau minimum est dépassé. En même temps, si l'indicateur est gradué convenablement, on pourra voir, d'après le degré marqué par l'aiguille, la température de l'eau de la chaudière et la pression de la vapeur, car celle-ci est toujours une fonction connue de la température; d'ailleurs, des expériences préalables et directes peuvent fournir les données de comparaison nécessaires dans ce but.

D'un autre côté, il est facile de comprendre qu'en disposant dans la chaudière une certaine quantité de ces sortes de tubes, de manière à en faire une chaudière tubulaire, on pourrait les faire servir à la création d'une source électrique énergique, que l'on pourrait utiliser à beaucoup d'usages.

Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'en établissant, les uns au-

dessus des autres, plusieurs systèmes de ces tubes générateurs, on pourrait aussi, par un mécanisme bien simple, les faire réagir sur l'indicateur, de manière à lui faire fournir les différentes variations du niveau de l'eau ; mais, comme cette application n'a aucune importance, je n'insisterai pas davantage sur les dispositions mécaniques à prendre dans ce cas.

L'avantage du système de M. Chenot est, comme on l'a sans doute déjà compris, de fournir des indications à distance, par exemple dans un bureau. On peut alors surveiller beaucoup plus facilement la machine, ce qui est un avantage inappréciable dans beaucoup de circonstances.

Régulateur électro-automatique de la température imaginé par M. Th. Du Moncel. — Il est souvent important dans certaines industries particulièrement pour les magnaneries, les minoteries, certaines usines de produits chimiques et même pour les serres-chaudes, etc., etc. de maintenir à un degré voulu la température d'un milieu de grandeur limitée. Dans ce cas l'électricité peut être utilisée avec avantage. C'est alors le thermomètre qui est l'organe régulateur, l'électricité l'organe automatique et la fonction de ces deux organes est de réagir sur des bouches calorifiques et réfrigérantes disposées en conséquence. Si le degré de chaleur déterminé n'est pas atteint, la bouche de chaleur s'ouvre sous l'influence d'un électro-aimant en rapport avec le thermomètre. Ce degré de chaleur vient-il au contraire à être outre-passé, la bouche de chaleur se ferme et la bouche refrigérante s'ouvre à son tour.

Les figures 1 et 2, pl. II, représentent la disposition des différents organes de ce système.

A B C D, A'B'C'D', fig. 2, sont deux thermomètres à air libre recourbés et remplis moitié avec de l'alcool moitié avec du mercure, ainsi que nous l'avons expliqué page 256, 2e vol.,

ils sont réglés de manière à marcher le plus possible d'accord; toutefois dans cette application leur marche synchronique n'est pas exigée, car ils ont chacun une échelle thermométrique spéciale à laquelle doit être rapportée la disposition des pièces régulatrices. Ces pièces consistent dans deux fils de platine *a g h* E, *c d e f* portées l'une par une tige en cuivre H E mobile à frottement dur dans une rigole de cuivre E I en communication avec la borne Y, c'est-à-dire avec circuit correspondant à la bouche calorifique; l'autre, par un flotteur *c* soutenu à la surface du mercure du thermomètre A'B'C'D'. Ce dernier système est équilibré d'une manière analogue à celui de la figure 1, pl. VII, et les extrémités *f* et *a* de ces fils de platine doivent être coupées de manière à correspondre l'une *a* à l'extrémité H de la tige E H, l'autre à la hauteur de flottaison du flotteur *c*. A portée du fil *c d e f* se trouve fixé un tube de verre K L mobile comme la tige H E dans une rigole isolante, et dont le mercure qui le remplit se trouve relié par un fil extensible à la borne X, qui est en rapport avec le circuit de la bouche refrigérante. La borne Z en communication avec l'un des pôles de la pile communique par des fils de platine avec le mercure des deux thermomètres.

Pour obtenir avec cet appareil le règlement de la température, il suffit de pousser plus ou moins la tige E H et le tube K L, jusqu'à ce que l'extrémité H de la tige E H et le niveau *g* du mercure du tube soient placés devant le degré des échelles thermométriques qui a été assigné. Il se manifeste alors les réactions suivantes : tant que le mercure du thermomètre A B C D n'a pas atteint la pointe *a* du fil de platine *a g h* E, c'est-à-dire tant que ce thermomètre n'a pas atteint le degré devant lequel on a placé l'extrémité H de la tige H E aucun courant n'est fermé à travers la bouche de chaleur, et la température s'élève successivement dans le milieu où se trouve placé l'appareil; mais aussitôt

que le mercure de ce même thermomètre rencontre la pointe *a*, le courant électrique est établi et la bouche de chaleur est fermée. Alors de deux choses l'une, ou la température continuera à monter ou elle redescendra ; si elle redescend, le courant qui a provoqué la fermeture de la bouche calorifique se trouvera interrompu, et celle-ci se rouvrira de nouveau. Si elle continue de monter, le fil *f e d c* sortira du mercure, et par cette rupture du courant ouvrira la bouche réfrigérante. On comprend qu'en adaptant au thermomètre A′B′C′D′ un système régulateur analogue à celui du thermomètre A B C D, on arriverait peut-être plus simplement au même résultat ; mais j'ai mieux aimé avoir recours à la disposition que je viens d'indiquer, afin que le courant ne soit pas bifurqué et n'ait pas à réagir en même temps sur les électro-aimants des deux bouches.

Pour obtenir une réaction électrique susceptible de mettre en jeu des bouches de chaleur d'un grand diamètre, ce qui est nécessaire dans les établissements industriels dont j'ai parlé, il m'a fallu combiner un mécanisme particulier qui est représenté fig. 1. La bouche à laquelle est adapté ce mécanisme dans le modèle que j'ai exposé en 1855, a 30 centimètres de diamètre. Elle consiste dans deux grands disques de cuivre percés de sept trous dont l'un est fixé à l'extrémité du tuyau du calorifère, et dont l'autre est mobile sur un axe auquel est adaptée une roue A ; trois autres roues intermédiaires de même diamètre B, C et D montées sur la traverse de cuivre E F, communiquent à cette roue A le mouvement d'un mécanisme d'horlogerie à 3 mobiles, commandé par un électro-aimant M et un échappement G H I d'une forme particulière que nous avons décrit page 332, 1er vol. Cet échappement correspond au troisième mobile. Pour chaque fermeture et pour chaque interruption du courant, le disque I fait un tour complet sur lui-même, et comme ce disque tourne sept fois plus vite que la roue intermé-

diaire A D avec laquelle elle est en rapport de mouvement au moyen d'un pignon fixé sur son axe, il arrive que chaque échappement de ce disque fait tourner la bouche de chaleur d'un septième de sa circonférence, c'est-à-dire d'une quantité suffisante pour que les trous placés les uns en face des autres sur les deux disques de la bouche se trouvent mutuellement cachés par l'intervalle qui les sépare. Quoique le mécanisme qui commande le jeu de cette bouche ne soit mis en mouvement que par un simple barillet H (muni, il est vrai, d'un ressort de tourne-broche) il a assez de force pour faire tourner le disque mobile, attendu que les roues A, B, C et D correspondent au second mobile.

La bouche réfrigérante est construite exactement de la même manière; seulement elle communique soit avec les caves, soit avec l'air extérieur, soit avec des appareils où peuvent être introduits des mélanges refrigérants.

Il va sans dire que ces bouches avec leur encadrement doivent être incrustées dans le mur des appartements où elles doivent être installées. Une pile de Daniell de 8 éléments suffit pour mettre en marche ces appareils.

Ce système de régulateur électrique de la température a été imaginé par moi dès l'année 1852, comme le témoigne un article inséré dans *Phare de la Manche* du 21 octobre 1852; il a été ensuite décrit tel que je l'ai présenté à l'Institut dans le journal de l'arrondissement de Valognes du 19 mai 1854. Je donne ici ces renseignements parce qu'un jeune inventeur, M. Jules Maistre, qui n'avait pas eu, il est vrai, connaissance de mes travaux à cet égard, avait présenté à la société d'encouragement un appareil de ce genre, quelques jours avant l'envoi de ma note à l'Institut; j'ai donc pour cette application une priorité de longue date à faire valoir.

APPLICATIONS DIVERSES DES SONNERIES ÉLECTRIQUES.

Les sonneries électriques sont, comme nous l'avons vu, l'accessoire inséparable des télégraphes électriques, puisque ce sont elles qui préviennent, de l'envoi d'une dépêche, et qu'elles peuvent même être employées comme télégraphes électriques. Aussi leur invention date-t-elle de l'invention même de la télégraphie électrique. Pourtant il ne faudrait pas croire que la télégraphie eût seule le monopole de leur application. Nous avons déjà vu qu'elles jouaient un rôle important dans les moniteurs électriques des chemins de fer, mais elles peuvent être employées encore dans les usages domestiques ou industriels toutes les fois qu'il s'agit de donner un signal. Elles peuvent donc être appliquées au régulateur de chaleur dont nous avons parlé, au lieu et place des bouches de chaleur électro-magnétiques, pour prévenir que le degré de température que l'on a déterminé est outre-passé; à des flotteurs dans les chaudières à vapeur, ou à des manomètres, pour indiquer l'abaissement trop grand du niveau de l'eau ou la pression trop forte de la vapeur; aux horloges ordinaires, pour prévenir quand on doit les remonter, ou pour servir de signal au moment de la reprise ou de la cessation du travail dans les grands ateliers; à certains métiers de tissage pour avertir de la rupture des fils; aux piles, pour prévenir quand le courant qu'elles envoient est devenu trop faible; aux observations barométriques, pour apprécier le moment exact où le niveau du mercure dans la cuvette est arrivé devant le repère; aux régulateurs de vitesse des moteurs pour indiquer que la vitesse déterminée est outre-passée; à la fermeture des portes et des meubles à secret, pour prévenir des tentatives d'effraction; à bord des navires, pour avertir de la déclaration d'une voie d'eau;

aux pêcheries, pour prévenir quand le poisson y entre ; aux navires, pour les présever des ensablements, etc. ; enfin les sonneries électriques peuvent être substituées avec avantage aux sonnettes ordinaires dans les maisons, les édifices publics et surtout dans les auberges.

Application des sonneries électriques aux manomètres et aux flotteurs. — Dès le commencement de l'année 1854 j'avais signalé, dans le journal de l'arrondissement de Valognes, l'importance de cette application électrique et la manière dont elle pouvait être mise à exécution. Voici, du reste, ce que je dis à cet égard dans le deuxième volume, page 193 de mon exposé des applications de l'électricité, 1re édition (publié en sept. 1854) à propos du manomètre de M. Chenot :

« Si l'on ajoute au manomètre de M. Chenot une sonnerie électrique, on pourrait faire en sorte que l'aiguille de l'indicateur, par son ascension trop grande ou par sa descente, établisse un courant électrique à travers deux butoirs disposés en conséquence, et avertisse du danger qui pourrait résulter *de la trop grande pression de la vapeur* ou de la trop grande dépense d'eau qui s'est faite dans la chaudière. »

Une note, publiée par M. Meunier dans l'un des feuilletons scientifiques de *la Presse*, prouve encore que cette question avait été étudiée par M. Reville, qui avait même ajouté à son système plusieurs accessoires ingénieux.

Cette application vient d'être enfin réalisée et mise en pratique par M. Breguet, qui a utilisé à cet effet les manomètres de MM. Siry et Lizars, construits pour les usines à gaz, et ceux de MM. Bourdon et Desbordes établis dans le but de s'adapter aux machines à vapeur.

La gravure ci-contre représente le système de M. Breguet.

L'appareil se compose de trois parties : du manomètre à aiguilles de MM. Siry et Lizars qu'on voit à gauche, d'une

pile électrique et au-dessus de la pile de l'avertisseur proprement dit.

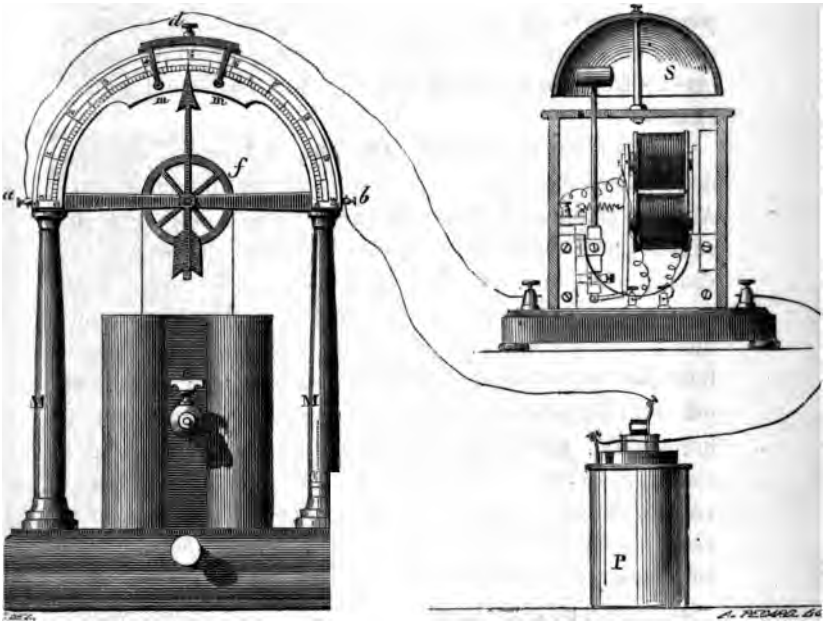


Fig. 1.

On voit que le manomètre se compose d'un socle surmonté de deux larges tubes réunis qui reçoivent, l'un un flotteur, l'autre un contre-poids suspendu au fil qui soutient le flotteur, après avoir passé dans la gorge d'une roue poulie à l'axe de laquelle est fixée une aiguille indicatrice.

Le tube dans lequel se trouve le flotteur contient de l'eau sur laquelle le gaz opère une pression, lorsque l'instrument est mis en rapport avec une conduite de gaz au moyen d'un tuyau quelconque. Suivant la pression, le flotteur s'élève ou s'abaisse et fait ainsi mouvoir la roue *f*, ce qui détermine l'inclinaison ou l'élévation de l'aiguille.

Le socle de l'appareil supporte, en outre, deux colonnes M M qui ont pour fonction de soutenir la traverse sur laquelle se meut l'axe de la roue *f*, et de maintenir dans une position verticale un arc de cercle gradué, de manière qu'un centimètre de pression prend des proportions telles que les fractions de millimètres sont très-facilement appréciables.

Tel est le manomètre de MM. Siry et Lizars; l'addition de l'appareil électrique a nécessité quelques modifications. Ainsi les colonnes M M ont dû être isolées de la traverse du cadran par des rondelles d'ivoire; de plus, derrière le cadran gradué, on a dû établir un second arc de cuivre, isolé également du premier, et sur lequel on a adapté un appendice mobile de cuivre *d*, portant deux branches qui enjambent par-dessus le cadran sans le toucher, et se terminent par deux aiguilles de platine *m m* placées dans une position horizontale. Aux deux extrémités du cadran en *a* et en *b* sont deux petites vis de pression dont l'emploi est de recevoir les fils électriques, de manière que le fil, retenu par la vis *b*, communique avec le cadran, et celui qui est fixé en *a* communique avec l'arc de derrière.

Lorsque l'on règle la pression du gaz au degré nécessaire, on dispose l'appendice *d* de façon que les deux aiguilles *m m* soient à égale distance de l'aiguille indicatrice, dont la pointe est également garnie en platine.

La pile P employée par M. Breguet est une pile de Daniell, dont le pôle positif est mis en rapport avec le manomètre au point *b*, et le pôle négatif va joindre l'une des vis de communication placées sur le socle de la sonnerie.

L'avertisseur électrique n'est autre chose qu'une sonnerie électrique de petite dimension, analogue à celle de M. Mirand que nous avons déjà décrite. Cette sonnerie est, d'un côté, en rapport avec le manomètre, de l'autre avec la pile.

L'appareil étant ainsi disposé et le degré de pression ayant été fixé, on met le manomètre en rapport avec le tuyau de gaz. Tant que l'aiguille indicatrice oscille entre les deux aiguilles *m m*, aucun avertissement n'est donné par la sonnerie; mais si la pression vient à être plus faible ou plus forte, le contact opéré entre cette aiguille indicatrice et les aiguilles de platine *m m*, détermine une fermeture de courant qui met en tintement la sonnerie. Les employés de l'usine se trouvent ainsi prévenus de la variation qui s'est opérée dans la pression, et l'un d'eux vient rétablir les choses dans leur état normal.

On comprend aisément que la même disposition pourrait être adaptée aux manomètres Bourdon et Desbordes.

Quant aux flotteurs des chaudières des machines à vapeur, l'application en est plus délicates. Le moyen le plus simple est d'adapter à l'intérieur de cette chaudière un tube en matière isolante portant à l'intérieur et à hauteur convenable deux pointes de platine en rapport, par un fil soigneusement isolé, avec la sonnerie électrique; un piston métallique facilement mobile à l'intérieur de ce tube serait, par un fil métallique extensible, mis en rapport avec la pile, et serait relié au flotteur de la chaudière. Il arriverait alors que, quand ce piston rencontrerait l'une ou l'autre des pointes de platine, la sonnerie serait mise en mouvement, ce qui préviendrait que le niveau de l'eau dans la chaudière serait trop bas ou trop haut. M. Berjot, à Caen, paraît être le premier qui se soit occupé de cette application.

Application de l'électricité aux horloges pour prévenir quand elles doivent être remontées. — Cette application, dont j'ai eu occasion d'apprécier les avantages à la campagne, s'obtient en adaptant au barillet des pendules ou au treuil des contre-poids des horloges, un petit pignon engrenant avec une roue dont le diamètre, eu égard à celui de ce pignon, est en rapport avec le nombre de tours dont il faut

tourner ce barillet ou ce treuil pour remonter entièrement le ressort ou le poids. Un petit frotteur à piston porté par cette roue appuie sur une plaque d'ivoire placée parallèlement à elle; et sur cette plaque est incrustée une lame métallique mise en rapport avec la sonnerie électrique, tandis que le mouvement de l'horloge est en rapport avec la pile. Il en résulte que, quand le ressort s'est à peu près complétement détendu ou quand le poids est sur le point d'atteindre le sol, la sonnerie est mise en action, et son tintement persiste jusqu'à ce qu'on ait remonté la pendule ou l'horloge.

Application des sonneries électriques aux horloges pour servir de cloches de signal lors de la reprise et de la cessation du travail dans les grands ateliers. — Dans la plupart des établissements publics ou privés et sur les grands travaux, on emploie ordinairement la sonnerie des cloches comme signal des heures de reprise et de cessation du travail; or, il arrive le plus souvent que ceux qui sont chargés de ce soin n'y apportent pas toute l'exactitude désirable. J'ai eu l'idée, pour éviter cet inconvénient, de faire agir sur ces cloches de signal l'horloge elle-même par l'intermédiaire de l'électricité, et voici comment j'ai disposé l'appareil (Voir fig. 3, pl. II) :

L'horloge devant servir de transmetteur a été organisée de manière à ce que l'aiguille des heures, au lieu de faire un tour de cadran en douze heures le fasse seulement en vingt-quatre, et puisse rencontrer dans sa course un ou plusieurs petits butoirs métalliques à curseur a, a', a'', etc., fixés par des vis de pression sur une circonférence métallique appliquée sur le cadran. Il va sans dire que cette aiguille se termine par un ressort ou plutôt par un levier articulé l appuyé contre un ressort, car, sans cela, elle serait arrêtée dans sa course par les butoirs. C'est, du reste, le mode d'interrupteur décrit page 251, 1er volume. L'aiguille des

minutes a une disposition analogue; et les butoirs qu'elle doit rencontrer sont placés sur une seconde circonférence concentrique à la première, mais dont elle doit être isolée. On conçoit, d'ailleurs, que les butoirs de la circonférence interne doivent être assez bas pour que l'aiguille des minutes ne les rencontre pas.

L'appareil étant ainsi disposé, on comprend facilement que si l'une des circonférences métalliques du cadran est en rapport avec l'un des pôles de la pile, et que l'autre circonférence communique à l'autre pôle, le courant sera fermé toutes les fois que les deux aiguilles se trouveront en contact simultané avec un butoir de chaque circonférence. Si donc on dispose ces butoirs de manière à correspondre aux différentes heures où l'on veut faire sonner la cloche, le courant électrique pourra agir en ces moments-là seulement sur la sonnerie, et la durée de son action dépendra du temps que le ressort de l'aiguille des minutes sera en prise avec le butoir correspondant.

Comme la sonnerie des cloches de signal doit être puissante, c'est un mouvement d'horlogerie, une espèce de tourne-broche, qui fait mouvoir le mécanisme à marteaux articulés, qui doit faire tinter la cloche. L'électricité n'agit que pour soulever ou abaisser la détente de ce mouvement en temps opportun, par l'intermédiaire d'un électro-aimant interposé dans le circuit. Deux fils, et même un seul, quand la distance est grande, suffisent donc pour faire marcher chaque sonnerie, et une pile de dix éléments de Daniell a assez de force pour faire agir trois et même quatre sonneries à la fois.

Quand il s'agit d'une faible sonnerie, l'électro-aimant de la détente a toujours assez de force pour l'attirer, et cette détente ne court pas risque d'être brisée par l'arrêt brusque d'une roue en mouvement; mais dans des sonneries aussi puissantes que celle dont il est ici question, ces obstacles

méritent considération. Or, voici le système de détente qui m'a le mieux réussi.

Sur l'arbre du tourne-broche qui porte la vis sans fin et le volant, j'ai fixé un disque métallique armé d'une seule dent de rochet. Un peu au-dessus de ce disque, et dans le même plan que lui, se trouve l'électro-aimant et son armature qui porte perpendiculairement à sa plus grande surface, c'est-à-dire perpendiculairement au plan de l'électro-aimant un fort butoir d'acier. Un ressort antagoniste tend à appuyer ce butoir contre la circonférence du disque, et lorsque la dent de ce disque le rencontre, la pression doit se faire dans le sens de l'axe de l'armature. Pour soutenir cette pression sans inconvénient, l'armature est percée dans son épaisseur d'une rainure dans laquelle s'engage un butoir coudé, scellé sur l'électro-aimant lui-même. Quand l'armature est soulevée, ce butoir touche l'un des bouts de la rainure; quand, au contraire, elle est attirée, il ne touche rien. Il s'ensuit alors que le choc porte principalement sur le butoir et non sur la goupille d'articulation de l'armature.

Le volant à marteaux articulés est fixé sur le même axe que le disque d'arrêt, et remplace le volant des tourne-broches ordinaires. Seulement, au lieu d'être fixé sur cet axe, il ne fait que pivoter dessus, et c'est un encliquetage analogue à celui de la fig. 11, pl. VI du 1er volume, qui lui communique le mouvement dont l'axe est animé. Quand la détente est lâchée, le volant se trouve donc ainsi mis en mouvement; mais quand le disque est arrêté, l'encliquetage, au lieu de donner au volant une impulsion, le retient; seulement, comme il ne peut résister à sa vitesse acquise, il cède et laisse passer un certain nombre de dents jusqu'à ce que son mouvement soit éteint.

De cette manière, aucun choc brusque n'est apporté à la détente et aucun frottement ne gêne l'action de l'électro-aimant.

Pour remonter le mécanisme de la sonnerie, on peut se servir, comme pour les tourne-broches ordinaires, d'une clef ou d'une manivelle; mais si ce mécanisme est placé à une hauteur telle qu'on ne puisse l'aborder aisément, ce qui arrive souvent, on est obligé d'avoir recours à une chaîne de Vaucanson que l'on engrène sur une roue à dents pointues adaptée à l'axe même du treuil sur lequel est enroulée la corde du poids.

Avec un appareil plus compliqué, on peut faire en sorte que le mécanisme lui-même se trouve remonté sans cesse, sous la seule influence du vent.

Navette moniteur électrique. — Un des inconvénients du tissage mécanique et particulièrement du tissage des rubans, à cause de leur petite largeur, est la rupture des fils des navettes dont souvent on ne s'est pas aperçu à temps; il en résulte alors des défauts et des inégalités regrettables dans le tissu de l'étoffe. Pour prévenir ces ruptures et faire en sorte que l'ouvrier soit averti à temps de la trop grande tension du fil, M. Peyrot a eu l'idée de recourir aux effets électriques. Pour cela, il fait passer le fil de la navette au sortir de la bobine sur une poulie adaptée à l'extrémité d'un levier un peu long, sollicité dans un sens déterminé par un ressort antagoniste. Ce ressort est suffisamment fort pour résister à la traction ordinaire du fil; mais quand cette traction devient assez considérable pour que la rupture du fil puisse s'ensuivre, il cède, et le levier vient rencontrer une lame métallique en rapport avec un circuit électrique passant par une sonnerie; celle-ci se met donc à tinter, et l'ouvrier peut alors arrêter la navette pour la dégager de l'obstacle opposé au détirement de son fil.

La description du brevet de M. Peyrot est si peu détaillée que je n'ai pu comprendre la manière dont il dispose les communications électriques pour les rendre susceptibles de se prêter au croisement des fils de la chaîne.

Application des sonneries électriques aux piles pour prévenir que le courant qu'elles envoient est devenu trop faible. — Cette application que j'ai imaginée en vue d'entretenir d'une manière régulière la marche des différents appareils électro-magnétiques qui sont installés chez moi, consiste dans l'adjonction d'un simple galvanomètre peu sensible à à une pendule ordinaire. Les fig. 10 et 11, pl. I, représentent cet appareil.

L'aiguille AB, fig. 11, du galvanomètre porte, soudée perpendiculairement à son axe, une autre aiguille CD de platine parfaitement équilibrée et terminée du côté E par un crochet. Cette aiguille se meut au-dessus d'un cadran de cuivre ou de carton FF divisé, et ce cadran porte lui-même une rainure circulaire à travers laquelle le crochet de l'aiguille de platine peut s'enfoncer quand elle se trouve, par une cause que nous signalerons à l'instant, inclinée de haut en bas. Si au-dessous de cette rainure se trouve adaptée une petite coupe pleine de mercure que l'on pourra, au moyen d'une pince à vis I, placer en tel ou tel point de l'arc divisé qu'on voudra, on comprendra facilement qu'il suffira de fixer cette coupe au point minimum de la déviation jugée convenable pour la force électrique qu'on désire obtenir, et de faire basculer l'aiguille, pour fermer un courant à travers une sonnerie électrique très-sensible. On sera donc ainsi prévenu que la pile a besoin d'être rechargée.

Pour obtenir cet effet mécanique de la part de l'aiguille du galvanomètre, une bascule doit être adaptée sur le bord du galvanomètre opposé à celui où doit se faire l'immersion de l'aiguille de platine. Cette bascule se termine, d'un côté, par une traverse semi-circulaire horizontale GH qui peut saisir le bout D de l'aiguille de platine dans toutes ses positions; de l'autre côté, elle est reliée à une petite tige verticale AB, fig. 10, qui se trouve à portée de la roue de compte de la sonnerie de la pendule. Quand cette tige est

dans une coche de cette roue, poussée qu'elle est par un petit ressort *r*, l'aiguille de platine du galvanomètre est parfaitement libre de se mouvoir, et peut être déviée par le courant qui se trouve fermé un peu avant la sonnerie de l'heure par la pendule; mais quand la tige A B se trouve repoussée par l'une des cames de la roue de compte, elle incline la bascule G H et fait abaisser le crochet de l'aiguille de platine. Si le crochet ne rencontre pas le mercure de la coupe, le courant est suffisamment fort et la sonnerie se tait, mais l'indication galvanométrique persiste en l'absence même du courant, car dans son mouvement ascensionnel, la tige A B s'est trouvée arrêtée par un petit crochet à ressort C, dont elle n'est dégagée que quelques minutes avant que l'heure sonne par une petite dent fixée sur la chaussée de la minuterie, et qui, au moyen d'un levier coudé M, écarte ce crochet; en même temps deux ressorts K I qui avaient été séparés au moment de l'abaissement de la tige A B, se trouvent mis en contact, et ferment le courant à travers le galvanomètre pour fournir une nouvelle indication. Quand le crochet de l'aiguille de platine du galvanomètre rencontre le mercure de la petite coupe de platine, la sonnerie est mise en activité et prévient qu'il faut recharger la pile.

Il résulte de cette disposition : 1° que toutes les heures une indication galvanométrique indiquant la force du courant est fournie; 2° que cette indication persiste sans que le courant soit fermé; 3° que quand la déviation est au minimum, la sonnerie électrique prévient de la faiblesse du courant.

On comprend qu'avec la même disposition de l'appareil, on pourrait obtenir un régulateur automatique des courants; car au lieu de faire réagir ce courant sur une sonnerie, on pourrait l'employer à opérer une liaison entre la pile dont on se sert et une pile supplémentaire. Dans ce

cas, il faudrait au galvanomètre une deuxième capsule remplie de mercure correspondant au maximum de déviation du galvanomètre, afin de diminuer le courant quand il serait trop fort. Ce système de régulateur aurait sur les autres l'avantage de ne pas exiger une fermeture continue du courant, et de ne pas affaiblir celui-ci par son passage forcé à travers un électro-aimant. Il pourrait donc être employé avec avantage dans l'horlogerie électrique, et les applications ou les circuits seraient exposés à des déperditions, soit lors des temps humides, soit par suite de bifurcations accidentelles provenant de la marche simultanée et régulière de plusieurs appareils soumis à la même pile.

Application des sonneries électriques aux observations barométriques et aux régulateurs de vitesse des moteurs. — Ces applications ont été déjà décrites avec détail, pages 405 et 219, 2e vol.

Application des sonneries électriques à la fermeture des portes et des meubles à secret. — Cette application, l'une des plus importantes des sonneries électriques, a été conçue depuis longtemps par M. Aristide Dumont; mais à l'époque où ce savant prit son brevet, les sonneries électriques domestiques n'avaient pas encore été combinées d'une manière pratique, et c'est sans doute à cause de cela que cette application ne s'est pas trouvée aussi répandue qu'on aurait pu le croire. Depuis l'établissement des sonneries électriques de M. Mirand, chacun peut disposer soi-même un système d'*électro-ferme* (c'est ainsi que M. Aristide Dumont a nommé ce genre d'application des sonneries), qui peut être adapté à la garde des maisons inhabitées, des barrières ou portes éloignées des habitations, des coffres-forts et des meubles à secret. M. Wartmann l'a même utilisé à Genève pour la garde des espaliers de son jardin, et le gouvernement sarde l'a employé dans les prisons pour prévenir des tentatives d'évasion.

Le problème des électro-fermes peut être résolu d'une foule de manières. Dans l'origine, M. Aristide Dumont faisait réagir le ressort ou le peigne de la serrure de la porte que l'on voulait garder sur un conjoncteur de courant; mais il est plus simple et plus sûr d'appliquer ce conjoncteur à la porte elle-même. Toutefois, il ne faudrait pas s'en tenir à un simple ressort qui viendrait en rencontrer un autre, la porte étant ouverte; car en n'ouvrant celle-ci qu'à moitié, l'effet du conjoncteur serait manqué. Le meilleur système à employer, en général, est de placer au-dessus de la porte en question une petite bascule articulée dont un des bras, poussé par un ressort, ferait appuyer l'autre sur la porte elle-même. En face du premier bras serait placée une lame de ressort en connexion avec le circuit électrique qui formerait le conjoncteur. De cette manière, l'avertissement électrique suivrait immédiatement l'ouverture de la porte, quand bien même celle-ci ne serait qu'entre-bâillée, et quand elle serait ouverte, la bascule échappant empêcherait que le conjoncteur ne fût forcé. Les ressorts à la barouillère qui sont placés contre certaines portes peuvent aussi être utilisés dans le même but; alors les guides du galet de ces ressorts doivent être en matière isolante, et une plaque en connexion avec le circuit de la sonnerie doit être placée sur le chemin parcouru par ce galet.

Quand, au lieu de l'ouverture des portes, on veut signaler la présence de quelqu'un en un lieu, il suffit d'adapter, en un point du passage qui doit être franchi, une plaque articulée légèrement soulevée au moyen de deux forts ressorts; alors, dès qu'on appuie le pied sur cette espèce de trappe, un contact électrique s'opère et donne lieu à un avertissement. Si le passage qu'on veut garder est long, on répète plusieurs fois ces trappes.

Il serait difficile de décrire tous les cas particuliers que comporte ce système d'application; mais dans tous ces cas

les moyens de résoudre le problème sont tellement simples, qu'ils se devinent aisément.

Application des sonneries électriques aux pêcheries. — Cette application a été faite à Caen par M. Émile Gervais, dans le but d'avertir du moment ou un poisson vient à entrer dans une pêcherie. Les pêcheries auxquelles cet appareil a été adapté consistent dans des compartiments entièrement fermés par des grilles de fer, et dont l'ouverture est constituée par une espèce d'entonnoir A B C D, fig. 12, garni de pointes en dedans. Quand le poisson, en remontant la rivière, entre par l'un de ces entonnoirs, il ne peut plus ressortir, à moins d'un hasard extraordinaire; alors, en parcourant les différents coins de l'espace fermé, il rencontre la grande fourche E F G H qui se trouve placée en travers, et qui, en oscillant autour de son point de suspension H, fait heurter la tête sphérique I contre un anneau métallique K fixé sur une équerre de bois et en rapport avec la sonnerie électrique. Comme la tige G I se trouve en rapport avec la pile par la platine H, il arrive que, toutes les fois que la fourche est dérangée de sa position verticale soit dans un sens, soit dans l'autre, la sonnerie électrique est mise en mouvement.

Application des sonneries électriques pour préserver les navires des ensablements. — Il arrive fréquemment, dans certains parages maritimes et sur le cours de certains fleuves ou rivières, que de nombreux bancs de sable paralysent la navigation et entraînent quelquefois même la perte des navires. Quand ces bancs de sable sont connus et que pour en reconnaître la présence on a des points de repère, on peut avec beaucoup de précautions éviter leur rencontre; mais dans des parages peu explorés, on ne peut même pas savoir le moment où il serait temps de commencer les sondages. On conçoit, d'après cela, combien serait important pour la navigation un appareil qui pût prévenir à temps et

sans le secours de personne de l'approche de ces bancs de sable. Cet appareil serait même très-précieux pour la navigation des rivières comme la Loire, où les bancs de sable sont variables, et éviterait la présence continuelle d'un sondeur sur l'avant du navire.

En faisant intervenir l'électrité, j'ai pu résoudre ce problème d'une manière extrêmement simple.

Ordinairement, les bancs de sable sont configurés comme de légers mamelons, et présentent de tous côtés des plans inclinés. Ces plans inclinés peuvent être plus ou moins rapides, mais, en général, ils ne dépassent guère la pente de 10 à 15 centimètres par mètre. Pour 30 mètres, par conséquent, qui représentent la longueur des grands navires à vapeur, la hauteur du plan incliné du banc de sable serait donc au maximum $4^m,50$. Supposons donc que les navires soient armés sur leur avant ou même à l'extrémité de leur mât de beaupré d'un long tube de fer plongeant dans la mer, et dans lequel peut se mouvoir librement une tringle de fer terminée par une large palette de tôle; on comprendra facilement que, si ce tube et cette tringle fixés dans une position verticale plongent dans la mer d'une quantité qui dépassera de $4^m,50$ la quille du navire, celui-ci, en s'avançant sur un banc de sable, fera opérer l'ascension de la tringle dans le tube, et dès lors cette tringle pourra agir sur un commutateur. Ce commutateur, à son tour, pourra mettre en mouvement une sonnerie d'alarme placée près du pilote ou du machiniste, et comme on aura 30 ou 35 mètres d'avance, on pourra, soit en faisant marcher la machine en arrière, soit en gouvernant de côté, éviter l'ensablement. Toutefois, on doit avoir égard à plusieurs considérations dans la construction de ce système de moniteur que nous avons représenté fig. 4, pl. II :

1° Il faut que le tube de fer, tout en étant fixé solidement sur le navire, puisse être remonté ou descendu plus

ou moins, suivant la profondeur en rapport avec le tirant d'eau du navire; ce que l'on obtient en faisant passer le tube à travers deux anneaux placés sur une même verticale et dont l'un porte une boîte à serrage. Deux chaînes adaptées à ce tube et fixées à un petit treuil ou un cabestan permettent, au moyen de poulies, d'opérer cette ascension;

2° Il faut que la tringle, qui pour certains navires pourrait peser 50 ou 60 kilog., soit équilibrée par un contrepoids pour éviter son ensablement et sa flexion; par la même raison, elle doit être munie de galets pour qu'en s'appuyant contre les parois du tube elle n'éprouve pas de résistance;

3° Il faut que la palette qui termine la tringle soit disposée en sabot, et que son articulation soit placée au tiers de la surface pour empêcher qu'elle ne s'enfonce dans le sable;

4° Il faut que le commutateur et la fourchette à poulie portant le contre-poids soient fixés sur le tube, pour être appropriés à toutes les hauteurs dont ce tube peut être immergé;

5° Il faut que la tringle soit maintenue, par rapport au tube, à un abaissement minimum, et qu'elle ne puisse tourner de côté, ce que l'on obtient en pratiquant environ à moitié de la longueur du tube, une double rainure dans laquelle circule la cheville d'arrêt de la tringle;

6° Enfin, il faut que la partie supérieure de ce système qui porte le commutateur soit recouverte d'une enveloppe imperméable.

Le commutateur consiste dans une pièce de bois solidement fixée à la partie supérieure du tube, et sur laquelle est incrustée une longue plaque de cuivre. Un fort ressort de laiton, recourbé circulairement et fixé par l'un de ses bouts sur la tringle mobile, est le *frotteur* qui doit opérer le contact électrique. Enfin, l'un des fils issus de la pile est

soudé sur la plaque du commutateur, tandis que le tube ou la boîte à serrage à travers laquelle il passe, ou même la tringle mobile, communique par un second fil à la sonnerie. Il va sans dire que les portions de ces fils en rapport avec la tringle et la plaque du commutateur doivent être recouvertes de gutta-percha et roulées en spirale, afin d'être extensibles.

Avec un système établi dans ces conditions, le moindre frottement de la tringle sur un banc de sable peut immédiatement mettre en action le commutateur, et, par suite, la sonnerie.

Application des sonneries électriques pour avertir de la déclaration d'une voie d'eau à bord des navires. — La mise en pratique de cette application imaginée par M. Robert Houdin se devine aisément, et nous n'avons pas besoin d'entrer dans aucun détail à cet égard.

Application des sonneries électriques comme sonnettes pour les usages domestiques. — Depuis longtemps les sonneries électriques sont d'un usage journalier en Amérique, tant dans les hôtels que dans les habitations particulières. La possibilité qu'elles donnent d'appeler à toute distance sans qu'il soit besoin d'imprimer un mouvement aux fils de communication, sans qu'on ait recours pour les installer à aucun mécanisme accessoire, à aucun compas, levier ou bascule; la facilité de la pose des fils conducteurs, qui peuvent être dissimulés à la vue, qui peuvent suivre tous les détours imaginables sans exiger le percement des murs et sans qu'il soit nécessaire de les tendre; tous ces avantages devaient naturellement les faire adopter avec empressement. Aussi, ces appareils sont-ils devenus en France, depuis quelques années, une véritable branche d'industrie, qui a été exploitée de la manière la plus heureuse par M. J. Mirand, auquel a été décernée pour cela une médaille de première classe, lors de l'Exposition universelle de 1855.

Pour que les sonneries électriques pussent être d'une application possible dans les usages domestiques, il fallait qu'elles fussent affranchies de tout mouvement d'horlogerie ; car, outre leur prix beaucoup trop élevé, des instruments ainsi construits nécessiteraient une attention continuelle et un soin pour les remonter que personne ne voudrait prendre. Par conséquent, les sonneries électriques des télégraphes ne pouvaient être d'aucun secours dans ce genre d'application. On a donc dû chercher à combiner des appareils dans lesquels l'électricité pût à elle seule faire tous les frais du mouvement du marteau, et cela sans exiger une grande force électrique. Nous avons vu, page 125, 2e vol., comment M. Mirand avait résolu ce problème dans sa sonnerie électrique télégraphique ; plusieurs autres constructeurs y sont également parvenus par des moyens plus ou moins simples. La gravure sur bois, imprimée page 69, représente le système de sonneries que M. Breguet a installé à l'hôtel du Louvre. Il est, comme on peut le voir, fondé sur le même principe que la sonnerie de M. Mirand, sauf que la vibration du marteau, au lieu d'être amplifiée par l'élasticité de lames de ressort soutenant et butant l'armature de l'électro-aimant, reçoit cette amplification de la part de deux longs leviers articulés.

Les sonneries de M. Froment, établies depuis plus de dix ans chez son père, rue Ménilmontant, ne fournissent qu'un seul coup, comme les timbres actuellement en usage dans certaines maisons. La figure 13, pl. I, représente la disposition de ce système de sonnerie. A est l'armature de l'électro-aimant M ; elle est articulée en E à une tige E D qui réagit sur un levier coudé P C D, dont la branche P porte le marteau et est rappelée contre un butoir B par un ressort à boudin F. Un autre butoir G, placé devant la tige de marteau, fait arrêt pour relever le marteau aussitôt qu'il a frappé sur le timbre T. On comprend que cette disposition

des leviers P C, D E, C D, amplifiant considérablement la course de l'armature, provoque un coup d'autant plus énergique que la croissance de la force électro-magnétique, à mesure que l'armature A s'approche de l'électro-aimant M M, est plus considérable.

Je ne parlerai pas de plusieurs autres systèmes de sonneries soi-disant imaginées par MM. Pohl, Masbon, Stransbury, etc., car ce sont des copies plus ou moins serviles des systèmes précédents, et j'aurais peur, en me faisant l'écho de leurs réclames, de favoriser un manége condamnable, qui, malheureusement, se reproduit dans toutes les industries en voie de prospérité et que tout publiciste consciencieux doit flétrir.

L'application des sonneries électriques, comme sonnettes pour les usages domestiques, comportait plusieurs dispositions accessoires importantes auxquelles ont songé MM. Froment et J. Mirand, et que nous allons maintenant étudier. La plus importante de ces dispositions est celle au moyen de laquelle les numéros des différents appartements ou chambres, qui doivent avoir rapport avec la sonnerie, se trouvent désignés en même temps que se fait entendre le signal.

Dans le système de M. Froment, imaginé en 1845, cet accessoire des sonneries consistait dans un cadre muni d'autant d'électro-aimants qu'il y avait de numéros à faire paraître. Ces électro-aimants étaient rangés verticalement les uns à côté des autres, et chacun d'eux réagissait sur un mécanisme que nous avons représenté fig. 14, pl. I, et qui se composait essentiellement d'un tube T, à l'intérieur duquel pouvait se mouvoir une tige U sollicitée par un ressort à boudin V. Cette tige, munie d'une échancrure *a*, portait à sa partie supérieure la plaque P, sur laquelle était inscrit le numéro de la chambre avec laquelle l'électro-aimant M était mis en rapport. Un levier coudé B A C, fixé sur l'armature

de cet électro-aimant, embridait en temps ordinaire cette tige U par son bras A B ; mais, quand l'armature venait à être attirée, la tige A C, basculant en C, se trouvait rejetée en arrière et dégageait la tige U qui, sollicitée par le ressort à boudin, s'élevait spontanément en faisant apparaître la plaque P au-dessus du cadre. Le numéro se trouvait donc ainsi désigné, et, pour le faire disparaître, il suffisait de repousser la plaque à l'intérieur du cadre. Le ressort G, servant de ressort antagoniste à l'armature de l'électro-aimant, permettait en même temps de renclancher la tige U. Dans cet appareil, la traverse horizontale H, que l'on voit en coupe sur la figure servait de butoir d'arrêt à toutes les armatures, et la traverse I de distributeur de courant à tous les électro-aimants.

Le système de M. Mirand est encore plus simple que le précédent, et permet certaines combinaisons qui peuvent être très-importantes dans beaucoup de circonstances.

Dans ce système, chaque mécanisme est en rapport avec les différentes chambres. Il se compose uniquement d'un électro-aimant M, fig. 18, pl. I, dont l'armature est une bascule aimantée oscillant entre ses pôles et portant une carte sur laquelle est inscrit, d'un côté seulement, le numéro de la chambre à laquelle elle correspond. C'est, en un mot, un appareil exactement semblable à celui que nous avons représenté fig. 7, planche IV, du 2e volume, moins le rhéotome et le cadre galvanométrique. Dans ce système d'appareils, le magnétisme remanent suffit, comme nous l'avons dit page 230, 1er volume, pour maintenir la bascule aimantée inclinée du côté où l'a fait dévier la dernière fermeture de courant. Par exemple, il faut que ces électro-aimants soient assez petits et que l'armature bute contre le fil et non contre les pôles, car alors la réaction de l'aimant sur le fer empêcherait la réaction du courant. En temps ordinaire, les bascules aiman-

tées doivent se trouver toutes inclinées du même côté, de manière à ne présenter que la partie noire de la carte qu'elles portent; mais, quand on ferme le courant dans l'une ou l'autre des chambres mises en rapport avec l'appareil et cela à l'aide d'un conjoncteur analogue à celui représenté fig. 1, pl. III, 1er vol., la bascule correspondante à ce conjoncteur dévie du côté opposé et fait apparaître le numéro dans un guichet ménagé en place convenable sur le cadre. Dès lors ce numéro reste visible jusqu'à ce qu'une inversion du courant fasse de nouveau tourner la bascule. Or, cette inversion du courant est produite par un second commutateur placé au-dessous du cadre, et que celui qui a été appelé doit toucher avant que de se rendre à l'invitation qui lui a été faite.

Comme ce genre d'appareils est plus spécialement susceptible d'application dans les auberges, et, comme dans ces sortes d'établissements c'est un même domestique qui est chargé d'un certain nombre de chambres voisines, M. Mirand a disposé son cadre à numéros de manière à ce que tous les numéros apparus disparaissent, sous l'influence d'une seule pression exercée sur un bouton commutateur placé au bas de ce cadre. La fig. 19, pl. I, représente la disposition de ce commutateur et des liaisons électriques; A, B, C, sont les électro-aimants du cadre en rapport avec trois chambres, dont les transmetteurs sont en *a* *b* et *c*. Le commutateur est en K et la sonnerie électrique en S.

Le commutateur K se compose d'un levier *d e* articulé en *e* et maintenu élevé par un ressort *g h* placé sous une pièce *f g* fixée à l'extrémité libre du levier *d e*. Cette pièce *f g* appuie supérieurement contre une petite équerre *f m* en rapport avec la sonnerie S; mais, étant abaissée, elle peut rencontrer une lame de ressort *n* en rapport avec le pôle

de la pile. Une lame métallique *i j*, fixée sous le levier *e d* dont elle est pourtant isolée métalliquement, complète, avec les lames de ressort *o p q r*, le commutateur. Ces dernières lames sont en rapport chacune avec un des électro-aimants du cadre à numéros, moins la dernière, qui correspond avec le pôle — de la pile.

Le jeu de l'appareil est facile à comprendre. Supposons qu'on appuie sur le transmetteur *a*, le courant ira de *a* en A, de A en B, puis en C par les dérivations *x*, *x'*. Il arrivera au ressort *g h*, et, par les contacts *f* et *g*, à l'équerre *m*, d'où il pénétrera dans la sonnerie S pour en ressortir par le fil *y* et aboutir à la pile; le numéro de l'électro-aimant A apparaîtra donc seul dans le cadre, et la sonnerie fonctionnera.

Supposons maintenant qu'on touche le transmetteur *b*, le courant ira de *b* en B, de B en C, etc., et accomplira le même trajet que précédemment. Le numéro de l'électro-aimant B apparaîtra donc, et la sonnerie fonctionnera de nouveau. Les deux numéros resteront donc visibles dans le cadre jusqu'à ce que le domestique se soit aperçu de leur apparition. Alors, pour les faire disparaître, il appuiera sur le commutateur K. Voyons, en effet, ce qui a lieu dans ce cas : le courant va alors de la pile au ressort *n*, entre dans la pièce *f g* qui se trouve en ce moment en contact avec elle, pénètre dans le ressort *g h*, et de là se dérive dans les électro-aimants C, B, A, dont il ressort par les ressorts *o p q* pour regagner la pile par la traverse *i j* et le ressort *r*. Le courant se trouve donc renversé dans tous les électro-aimants à la fois, et, partant, les bascules sont immédiatement déviées.

Par une combinaison un peu plus compliquée de fils, M. Mirand est parvenu à faire en sorte : 1° que l'apparition d'un numéro sur le cadre aux numéros provoque toujours

la disparition de celui qui l'a précédé ; 2° que la désignation de 55 numéros différents puisse être fournie par un cadre de 10 numéros seulement en employant deux nos à la fois.

Pour résoudre le premier problème, M. Mirand emploie des transmetteurs à trois contacts analogues à celui représenté fig. 4, pl. III, 1er vol.

L'un de ces contacts, celui du milieu *c* (voir fig. 20, pl. I), est relié au pôle positif de la pile ; les deux autres *a* et *b* ont leur point de liaison différent, selon que les transmetteurs auxquels ils appartiennent sont pairs ou impairs, par rapport aux numéros sur lesquels ils sont destinés à réagir. Pour les transmetteurs impairs, le contact *a* correspond au contact *b'* des transmetteurs pairs, et le contact *b* est relié directement à la bobine de gauche de l'électro-aimant correspondant du cadre aux numéros. Pour les transmetteurs pairs, ce contact *a'* correspond au pôle négatif de la pile, et le contact *b'* est relié aux bobines de gauche des électro-aimants correspondants du cadre aux numéros. Dans tous les cas, les bobines de droite de tous ces électro-aimants pairs ou impairs sont reliées ensemble. Pour peu qu'on suive la marche du courant sur la figure, on pourra s'assurer que le courant envoyé par l'un des transmetteurs réagit à la fois sur trois électro-aimants ; mais le sens du courant à travers l'électro-aimant correspondant à ce transmetteur est différent de celui qui traverse les deux autres électro-aimants, d'où il résulte la destruction de l'effet primitivement produit.

Pour résoudre le second problème dont nous avons parlé, M. Mirand emploie des transmetteurs à quatre contacts ; mais les combinaisons sont tellement complexes, qu'il faudrait une grande figure pour les expliquer. Du reste, en se pénétrant de la disposition précédente et en faisant intervenir le quatrième contact du transmetteur dans les liaisons électriques, on peut comprendre comment doivent être

combinées les communications électriques pour réaliser l'effet voulu.

Les autres accessoires que M. Mirand a ajoutés à ses sonneries, sont : 1° des transmetteurs à réponse reliés électriquement avec le tableau aux numéros, ou simplement avec un second transmetteur pour indiquer que l'appel qui a été fait a été entendu ; 2° de petites sonneries de bureau dont le timbre est en bois gaïac, pour ne pas faire trop de bruit; 3° un mécanisme pour empêcher les sonneries de tinter quand, étant placées sur un wagon de chemin de fer, elles sont soumises à des trépidations nuisibles.

Le premier de ces systèmes représenté fig. 21 consiste dans un mécanisme exactement semblable à celui de chaque numéro dans le cadre indicateur dont nous venons de parler; seulement, quand il doit être mis en rapport avec ce cadre, les combinaisons électriques des fils doivent être telles que l'abaissement du commutateur K, fig. 19, pl. I. ait pour effet une fermeture de courant dans le sens voulu pour faire apparaître, dans le guichet du transmetteur, ces mots : *On a entendu*, ou : *C'est compris*. De plus, comme le courant, envoyé dans ce cas à la sonnerie et au cadre aux numéros, est obligé de passer par l'électro-aimant de cet appareil à réponse, il en résulte que chaque fois qu'on fait un appel, le signal de réponse disparaît. Inutile de dire que la réaction, qui peut se faire pour un de ces transmetteurs, s'effectue également dans le cas où il y en a plusieurs.

Les sonneries de bureau de M. Mirand sont beaucoup plus petites que les autres, mais exactement construites dans le même système. Le timbre de gaïac présente sur son bord une ouverture assez large par laquelle sort le son, car on est obligé, pour rendre ces timbres sonores, de les appliquer très-près de la planche qui leur sert de support. Toute la réussite de ce système d'appareils gît dans ce détail de construction.

Quant au mécanisme destiné à empêcher les sonneries électriques de tinter lorsqu'elles sont mises accidentellement en mouvement, il consiste simplement dans une petite détente de liége fixée à l'extrémité d'un long levier, dont le mouvement est commandé par un petit électro-aimant annexé à celui de la sonnerie. La tige du marteau de cette sonnerie bute, en temps ordinaire, contre cette détente, qui l'empêche d'atteindre le timbre ; mais, quand le courant réagit, cette détente est écartée, et le marteau devient libre dans ses mouvements. Quand la longueur du circuit n'est pas considérable, une bifurcation du courant suffit pour faire marcher séparément les deux électro-aimants; mais, quand cette longueur devient plus considérable, l'électro-aimant additionnel devient relais, tout en faisant fonctionner la détente de liége.

APPLICATIONS ÉLECTRIQUES ÉCONOMIQUES.

Loch électrique. — Pour déterminer la vitesse des navires en mer, vitesse de laquelle on peut déduire approximativement l'espace parcouru, on jette ce qu'on appelle le loch à la mer. C'est une espèce de flotteur auquel est attachée une longue corde qu'on laisse défiler à mesure que le navire marche ; on note le temps que la corde met ainsi à se dérouler, et on obtient par cela même la vitesse du navire. Pour avoir une approximation suffisante dans l'estimation du chemin parcouru, il faut jeter souvent le loch à la mer, et encore cette manière d'opérer n'est pas d'une justesse irréprochable, puisqu'elle ne fournit que des repères plus ou moins éloignés les uns des autres. On a donc cherché à obtenir, par l'intermédiaire d'instruments particuliers, des indications continues, et pour cela encore l'électricité a été un intermédiaire utile. Au moyen des lochs électriques, en effet, non-seulement les différentes phases de la vitesse du navire peuvent être appréciées à chaque instant du jour,

mais les distances parcourues se trouvent inscrites d'une manière continue sur un cadran dans la chambre même du capitaine. Il n'est donc plus besoin, avec ces appareils, de jeter le loch à la mer ni de faire aucun calcul.

Le loch électrique a été imaginé, en 1845, par M. Bain; mais sa description n'en ayant pas été publiée, je vais indiquer sommairement le principe de celui que j'ai fait construire.

Qu'on imagine, plongé dans une eau parfaitement calme, un petit moulinet à deux ailes engrenant avec un compteur: Ce petit moulinet ne bougera pas tant qu'on le maintiendra immobile, mais si on l'entraîne avec une vitesse plus ou moins grande, il se mettra à tourner, et le nombre de ses tours, enregistré par le compteur, sera en rapport avec la vitesse qui lui aura été imprimée. Le même effet serait produit, si l'appareil, au lieu d'être entraîné, fût demeuré immobile et que l'eau eût acquis un mouvement. Supposons donc que différentes expériences préalables faites soit au moyen des cours d'eau dont la vitesse est connue, soit en faisant mouvoir l'appareil dans une eau très-calme avec des vitesse uniformes également connues, aient permis de dresser une table indiquant les différentes vitesses en rapport avec tel ou tel nombre de tours de moulinet accomplis dans tel ou tel temps, on pourra apprécier immédiatement par là les espaces parcourus soit par le cours d'eau, soit par l'instrument.

Admettons maintenant qu'un instrument de ce genre soit adapté à l'extrémité d'une longue tige de fer soutenue derrière les navires par un flotteur, et que, par l'intermédiaire de fils recouverts de gutta-percha, un courant électrique soit établi à travers le compteur; chaque cinquantaine de tours du moulinet, par exemple, pourra être accusée sur un appareil électro-magnétique placé dans la chambre du capitaine, par l'effet d'une fermeture de courant opérée

à propos par le compteur. Ces fermetures de courant seront d'autant plus nombreuses que la vitesse du navire sera plus grande, et si une horloge placée auprès de l'appareil électro-magnétique déclanche celui-ci toutes les heures de manière à faire marcher un calculateur, on pourra voir sur un cadran correspondant à ce dernier mécanisme l'espace parcouru par le navire aux différentes heures du jour et de la nuit. Bien plus même, des traces au crayon pourront être laissées sur une feuille de papier placée sur l'appareil, et l'on suivra ainsi les différentes phases de la vitesse du navire pendant toute la durée du trajet. On comprend facilement que plusieurs précautions doivent être prises pour que cet appareil fonctionne régulièrement. Il faut, par exemple, que le moulinet soit placé à une profondeur d'environ 8 mètres au-dessous du niveau de l'eau, afin d'éviter les perturbations occasionnées par des vagues dans le sens du mouvement du navire. Les oscillations dans le sens vertical n'exercent aucune influence; car si le moulinet étant soulevé de bas en haut par les vagues, tourne plus vite qu'il ne devrait le faire, il tourne moins vite lorsqu'il descend après le passage de ces vagues. Il faut encore qu'une grande plaque de tôle ou de zinc maintienne toujours le moulinet perpendiculaire au sillage du navire. Enfin, il faut que les mécanismes du compteur, au lieu de réagir directement sur le ressort interrupteur comme dans mon anémographe, ne le mettent en action que par l'intermédiaire d'un levier à bascule, dont l'une des branches soit renfermée dans une boîte hermétiquement close, et dont l'autre sortant de cette boîte soit en partie enveloppée dans une gaîne de caoutchouc enveloppant toute la boîte. De cette manière, le levier-bascule est libre dans ses mouvements, et l'eau ne peut pas entrer dans la boîte où se trouve le ressort interrupteur, qui peut être disposé comme nous l'avons indiqué fig. 16, pl. III, 1er vol.

La fig. 15, pl. XI, représente cet appareil. A B est le moulinet, C la roue du compteur, D la boîte de l'interrupteur, L la bascule de cet interrupteur en rapport avec le fil *a* recouvert de gutta-percha ; R est le ressort de platine de ce même interrupteur communiquant avec le fil *b*; E est la palette pour maintenir le moulinet dans une direction perpendiculaire au courant; F est le flotteur; enfin, T T est la tige de fer sur laquelle est fixé tout le mécanisme au moyen du collier G.

Le récepteur traçant de cet appareil, qui, comme je l'ai déjà dit, est placé dans la cabine du capitaine, n'est autre chose que la partie du récepteur de mon anémographe se rapportant à l'enregistrement de la vitesse diurne du vent, et que nous avons décrite page 383, 1er vol. Seulement, c'est une horloge à balancier circulaire qui commande le mouvement du cylindre enregistreur, et le nombre des dents du rochet qui se trouve entre les branches de l'électro-aimant est calculé de manière que chaque mouvement du second crayon enregistre un kilomètre. Un compteur à cadran adapté à cette roue à rochet permet ensuite de faire indiquer à une aiguille le nombre des kilomètres successivement parcourus.

Harpon électrique pour la pêche de la baleine. — On lisait, il y a quelques mois, dans un journal allemand, la nouvelle suivante :

« Il y a quelque temps, on pouvait voir exposé, chez le pharmacien Julin, à Abo, un appareil électro-magnétique pour la pêche de la baleine construit par le célèbre physicien Jacobi, de Saint-Pétersbourg. Cet appareil se compose de douze aimants ayant la forme de fers à cheval, disposés les uns en face des autres, et au milieu desquels sont placés deux cylindres réunis et bien entourés de fils de cuivre isolés, auxquels un fort mouvement de rotation peut être imprimé au moyen d'axes et de manivelles. Destiné à étour-

dir la baleine, cet appareil produit au moindre mouvement des cylindres des chocs assez sensibles qui, par l'accélération du mouvement, deviennent intolérables. Il est tout naturel que des fils de cuivre isolés soient disposés le long de la ligne à laquelle le harpon est fixé, et que leurs bouts soient, au moment où le harpon touche la baleine, mis en communication avec l'appareil chargé pour la pêche. Cette machine est destinée au navire baleinier *l'Ayan*, troisième bâtiment russo-finois, construit à Uleaborg, et qui, étant arrivé à Abo à la mi-juillet, en sortira bientôt complétement équipé pour aller faire la pêche de la baleine dans l'Océan. »

Cette description n'est pas très-claire; mais, d'après la disposition de l'appareil, on peut conclure que le but qu'on s'est proposé en faisant intervenir dans cette occasion l'électricité, était d'étourdir la baleine à chaque coup de harpon, par la décharge d'une forte machine de Clarke. Reste à savoir comment doit être établie alors la communication électrique. Est-ce par l'intermédiaire de deux harpons? Est-ce par l'intermédiaire de deux dards fixés à un même harpon, et auxquels aboutiraient les deux extrémités du fil induit? La description précédente permet cette double conjecture. Quoi qu'il en soit, si cet appareil produit de bons résultats, ce sera une application fort simple des machines électriques.

Régulateur électrique pour faire cuire les œufs. — Au premier abord, l'énoncé de ce problème fait sourire et ne paraît avoir rien de sérieux; je vois même d'ici bon nombre de personnes qui disent que, dans cette circonstance, je veux prendre un *cric pour déboucher une bouteille* (termes du proverbe.) Je me permettrai de répondre d'avance à ces personnes, en leur demandant quelles sont celles d'entre elles qui n'ont pas eu à se plaindre de leur cuisinier pour l'inégale cuisson des œufs. Or, pour certains amateurs, cette question n'est certes pas une question

futile, et d'ailleurs toutes les questions économiques, même celles en apparence les plus insignifiantes, ont leur côté sérieux au point de vue scientifique. A ce titre, on ne devra donc pas s'étonner si j'ai cherché à combiner un appareil au moyen duquel les œufs pussent être retirés automatiquement de l'eau bouillante aussitôt après que le temps de cuisson jugé nécessaire a été passé. La figure 16, pl. XI, représente la disposition de cet appareil.

A B est un levier de fer ou de bois articulé en B, et portant un contre-poids mobile P assez lourd pour entraîner dans sa chute le petit panier en fils de fer étamés K, dans lequel sont placés les œufs, et qui se trouve disposé au-dessus du fourneau où l'on a habitude de les cuire, au moyen de cordes et de poulies I, J. Ce levier, et son support coudé E E, peut être placé en tel point de la cuisine qu'il convient. Sur ce levier A B est fixé un arc de cuivre C denté assez finement pour engrener avec un pignon D, de très-petit diamètre, et muni d'ailettes. L'armature d'un électro-aimant M, placé au-dessus de ce système d'ailettes, embride, au moment de la cuisson, c'est-à-dire au moment où l'on a abaissé le panier K dans la casserole, ce système mécanique; mais, quand cette armature est soulevée, le poids P entraîne le levier A B, et, par suite, le panier K, jusqu'à ce que le système soit arrêté par la cheville Q. Cette position est celle de l'appareil en temps ordinaire.

Sur une planche E G, adaptée au support E E, est fixé un de ces métronomes que les musiciens achètent pour battre la mesure, et qui ont pour organe régulateur un pendule dont la masse oscillante peut être plus ou moins éloignée de l'axe d'oscillation; l'un des rouages de ce métronome, celui qui accomplit sa révolution environ en deux minutes de temps, porte une cheville de platine qui, en rencontrant une lame de ressort mise en communication avec l'électro-aimant M, ferme un courant à travers cet électro-aimant.

Sous l'influence de cette fermeture de courant, le levier A B tombe et détermine l'élévation du panier K; mais, dans ce mouvement, une petite queue, que le levier A B porte, vient saisir le pendule du métronome et arrête son mouvement jusqu'à ce que le cuisinier, ayant de nouveau abaissé le panier K, ait fait relever le levier A B; alors, au bout de deux minutes et demie ou trois minutes, suivant la manière dont on a réglé le pendule du métronome, une nouvelle fermeture de courant est opérée, et le panier K se trouve retiré de la casserole.

Ce système électro-mécanique peut être employé dans plusieurs autres genres d'applications électriques; par exemple, pour retirer les plaques daguériennes de la boîte à iode ou au brome, ou bien pour fermer l'objectif des daguerréotypes eux-mêmes. On peut encore l'employer pour retirer hors d'un bain galvanoplastique des objets que l'on dore ou que l'on argente au trempé; j'avais même, pour cette dernière application, combiné, il y a deux ans, un système particulier dont la première idée m'avait été suggérée, je dois le dire, par M. Delamotte, habile ouvrier chimiste. Voici comment je disposais alors ce système, auquel j'avais donné le nom de *distributeur électrique pour la galvanoplastie :*

Au-dessus de chaque compartiment de la grande cuve, où doivent être immergés les objets qui doivent subir une même préparation, se trouvent tendues horizontalement et à une certaine distance en dehors de la cuve (d'un côté seulement) des cordes métalliques sur lesquelles peuvent glisser un certain nombre, de petites roulettes à gorge, dont l'axe pivote entre deux épaulements d'une pince de cuivre à laquelle sont attachés les objets qui doivent être immergés. De cette manière, si les cordes, par un effet mécanique quelconque, se trouvent inclinées, ces objets sont transportés latérale mentet par leur propre poids en dehors de la cuve.

A l'extrémité de la cuve, du côté opposé aux points d'attache fixes des cordes, sont adaptés des montants de bois à coulisse, à l'intérieur desquels peut se mouvoir de bas en haut une pièce métallique portant à sa partie inférieure une roulette. Cette roulette appuie de bas en haut sur la corde qui lui correspond, tandis que la pièce métallique elle-même est sollicitée à un mouvement ascensionnel par un poids disposé en conséquence, et qui réalise son effet par l'intermédiaire de poulies de renvoi. Quand les pièces sont immergées, les cordes doivent être à peu près horizontales. Alors, un butoir à ressort, fixé sur l'un des côtés de chacun des montants en bois, empêche la pièce mobile d'être entraînée par le poids et ne lui permet pas de soulever la corde correspondante engagée sur la roulette qu'elle porte.

Tant que cette pièce mobile est butée, les objets restent donc immergés. Mais aussitôt que le butoir est retiré, le poids faisant son office soulève ces objets hors du bain, et comme la corde est alors inclinée, ils glissent, comme je l'ai déjà dit, en dehors de la cuve. Les éléments du problème étant ainsi fixés, il ne s'agit plus, pour en obtenir la solution, que de trouver un moyen de faire soulever mécaniquement les butoirs d'arrêt, après un laps de temps plus ou moins long et qui doit pouvoir être réglé. Or, c'est là qu'intervient l'action électro-magnétique.

D'abord, pour le soulèvement des butoirs, rien de plus simple : il suffit, comme on l'a déjà deviné, d'un électro-aimant adapté à chacun des montants des cuves et dont l'armature est liée au butoir correspondant. Mais pour l'interrupteur du courant à travers cet électro-aimant, le problème est plus complexe, car les temps d'immersion peuvent varier depuis cinq minutes jusqu'à quatre, cinq, six et même douze heures. Dans ce dernier cas pourtant, le fonctionnement mécanique est moins important.

Pour obtenir ces fermetures variables du courant, j'adapte

au cadran d'une horloge deux cercles métalliques concentriques sur lesquels sont soudés douze butoirs métalliques à charnière, correspondant aux différents chiffres du cadran; les aiguilles de l'horloge sont elles-mêmes munies de leviers à ressorts comme ceux que j'ai indiqués pour l'horloge de mes sonneries de signal. Celle de ces circonférences métalliques qui correspond à l'aiguille des minutes, est en rapport avec les électro-aimants qui ont action sur l'enlèvement des pièces qui doivent rester dans le bain moins d'une heure. L'autre circonférence est, au contraire, en rapport avec les électro-aimants correspondant aux objets qui doivent être immergés plus d'une heure.

Les aiguilles sont mises ensuite en rapport électrique avec l'un des pôles de la pile, tandis que l'autre pôle correspond aux divers électro-aimants. Quand on veut que les objets ne restent immergés que pendant cinq minutes ou une heure, on laisse tous les butoirs redressés. Mais quand on veut que l'action électrolytique dure plus longtemps, par exemple dix minutes ou deux heures, on abaisse la moitié des butoirs, en les alternant. En un mot, on abaisse le nombre nécessaire de ces butoirs (qui sont, comme nous l'avons dit, à charnière) pour qu'il y ait un espace libre correspondant à la durée d'action électrolytique qu'on a jugée convenable. Pendant ce temps, on prépare d'autres objets, et, comme le courant électrique, avant d'arriver aux électro-aimants, passe par une sonnerie, on est prévenu de l'ascension hors du bain des objets qui s'y trouvaient plongés. Alors on peut leur en substituer d'autres sur les cordes, et il suffit de soulever les poids pour les faire immerger à leur tour, en les mettant en état de subir une nouvelle action de la part de l'horloge régulatrice.

Avertisseur électrique pour les concierges.— Il est souvent nécessaire, pour les personnes qui ont à s'occuper de nombreuses affaires, de faire savoir, plusieurs fois dans la jour-

née, à leur concierge, si elles peuvent recevoir ou si elles veulent fermer leur porte. Or, pour peu que l'on demeure à un étage élevé, ce soin devient tellement fatigant, qu'on préfère, la plupart du temps, ne rien dire au concierge, au risque de rendre inutile la peine prise par les visiteurs de monter plusieurs étages. Au moyen de l'appareil que je vais décrire, et que j'ai appelé *avertisseur électrique*, le concierge peut être prévenu sans qu'on ait à se déranger ; et comme le signal qui est fourni reste immobile jusqu'à ce qu'on le remplace, on a l'avantage de laisser au concierge un indice certain qui peut suppléer à sa mémoire.

Cet appareil, comme on l'a déjà deviné sans doute, n'est autre chose que l'appareil aux signaux des chemins de fer, dont j'ai déjà parlé page 187, 2e vol. ; seulement, au lieu d'un disque rouge et d'un disque blanc, qui apparaissent tour à tour dans un guichet unique, ce sont les initiales R et S des mots *rentré* — *sorti*. Le rhéotome de la sonnerie se trouve supprimé, de sorte que tout le mécanisme se réduit uniquement à la bascule aimantée portant les lettres R et S, qui oscille entre les branches de l'électro-aimant suivant le sens du courant, et qui se trouve maintenue dans la dernière position qu'elle a prise par le magnétisme rémanent de l'électro-aimant.

Ces appareils peuvent être simples, doubles, triples, quadruples, etc., suivant le nombre de personnes qui veulent communiquer avec le concierge.

Tel que je l'avais conçu dans l'origine, cet appareil devait fonctionner avec deux petits électro-aimants, et c'était toujours le magnétisme rémanent qui maintenait fixe la bascule après la cessation d'action du courant. Mais M. Mirand l'a simplifié, ainsi que je viens de le dire.

Le transmetteur consiste dans un double bouton analogue à ceux des sonneries électriques, mais dont les ressorts sont tellement combinés entre eux, que le courant passe direc-

tement à travers l'appareil ou se trouve renversé, suivant qu'on touche le bouton de gauche ou le bouton de droite. Bien plus même, il suffit de les toucher instantanément pour que le signal soit transmis, quand bien même celui-ci ne serait pas arrivé à son point de repos au moment où le fluide était en mouvement. La figure 10, pl. IV, 1er vol., représente ce commutateur.

Serrures électro-magnétiques. — Les serrures électro-magnétiques ne peuvent avoir d'emploi utile que dans le cas assez rare où une porte, une grille, etc., doivent être ouvertes de fort loin. Elles ont alors pour accompagnement indispensable une sonnette électrique et même un électro-ferme. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un parc fermé, dont le château ou la maison d'habitation soient très-éloignés de la porte d'entrée, et admettons qu'on ne veuille pas avoir de concierge à cette porte : il devient urgent, pour éviter des dérangements trop fréquents, de pouvoir ouvrir cette porte à distance, et c'est alors que les serrures électro-magnétiques peuvent être d'un grand secours. En effet, étant prévenus par la sonnette électrique, les domestiques du château n'ont qu'à toucher le bouton transmetteur en rapport avec la serrure électro-magnétique pour que celle-ci permette l'ouverture de la grille.

Ce système de serrure est excessivement simple; il ne diffère des serrures ordinaires qu'en ce que le pêne, au lieu d'être mobile, est fixe, et que c'est une clavette mobile, sous l'influence électrique, qui sert de point d'arrêt à ce pêne. A cet effet, cette clavette, taillée en biseau du côté où le pêne rigide doit la rencontrer quand on ferme la porte, est fixée à angle droit à l'extrémité de l'armature d'un électro-aimant. Cet électro-aimant est disposé sur le vantail dormant de la porte, de manière que le propre poids de son armature (modifié pourtant par un contre-poids) serve de ressort antagoniste et abaisse la clavette à

une hauteur suffisante pour buter le pêne rigide au moment où les deux vantaux sont fermés. Afin d'offrir un point d'arrêt plus sûr, la clavette passe au travers d'une petite plaque de tôle disposée horizontalement au-dessus du pêne. Enfin, deux lames métalliques, faisant légèrement ressort, sont disposées dans la feuillure de chaque vantail de la porte, de manière qu'elles se touchent quand la porte est fermée. Une des extrémités du fil de l'électro-aimant correspond à l'une de ces lames, tandis que l'autre lame est en rapport avec le bouton transmetteur; il résulte de cette disposition que le circuit n'est complet au travers de l'électro-aimant que quand la porte est fermée. Par conséquent, au moment où l'on ouvre la porte, le circuit est rompu, quand bien même le bouton transmetteur continuerait d'envoyer le courant. On verra à l'instant l'importance de cette disposition. Quant au jeu de la serrure, il se devine aisément, puisque la clavette qui bute le pêne se trouve abaissée ou soulevée suivant que le courant passe ou ne passe pas dans le circuit.

Si, dans ce genre de serrure, je m'étais contenté de faire agir le courant par un simple effet de fermeture, il en serait résulté : 1° que cette fermeture, étant faite promptement, la porte aurait bien pu ne pas être poussée assez vite pour que le pêne fût dégagé à temps de la clavette; 2° que si une lame de ressort avait été employée pour séparer les deux vantaux au moment du soulèvement de cette clavette, l'électro-aimant n'aurait jamais eu assez de force, sous l'influence seule du courant d'une pile de Daniell, pour opérer ce soulèvement. Voici donc comment j'ai disposé mon bouton transmetteur :

Deux lames métalliques, placées l'une au-dessus de l'autre, comme dans le bouton transmetteur des sonneries électriques, sont disposées devant un très-petit électro-aimant dont l'armature forme crochet d'encliquetage. Le ressort

supérieur qui porte le bouton, étant poussé, peut se trouver buté contre ce crochet, et, par conséquent, reste collé sur l'autre ressort. Le courant se trouve donc alors fermé d'une manière permanente jusqu'à ce que l'encliquetage soit levé, et il suffit pour cela que le courant passe au travers de l'électro-aimant qui lui correspond.

Ainsi, au moyen de ce transmetteur, on ferme le courant dans l'électro-aimant de la serrure, et cette fermeture a pour effet le soulèvement permanent de la clavette jusqu'à ce que la porte soit ouverte. En ce moment-là le circuit est rompu, comme nous l'avons vu, par la disjonction des deux lames métalliques qui se trouvent dans les feuillures des vantaux. Mais, un instant après, le vantail qui s'ouvre met en contact deux ressorts métalliques en rapport avec le circuit de l'électro-aimant du transmetteur, et le circuit de la serrure se trouve alors rompu, quand bien même, la porte étant fermée de nouveau, les deux lames des feuillures seraient en contact. Il va sans dire que le second circuit dont nous venons de parler, c'est-à-dire celui du transmetteur, et son système de fermeture à chaque ouverture de la porte, peuvent constituer un électro-ferme. Il suffit, pour cela, d'interposer dans ce circuit la sonnerie électrique ; on serait alors averti, par ce moyen, du passage des personnes qui voudraient forcer la porte.

Pour compléter le chapitre des applications économiques de l'électricité, je mentionnerai seulement à titre de renseignement, car je n'ai aucune connaissance de l'appareil, un *tue-mouche électrique* imaginé il y a un an par un habitant de Saint-Omer, dont les journaux n'ont pas indiqué le nom.

APPLICATIONS ÉCONOMIQUES DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Considérée au point de vue des relations de peuple à peuple, de gouvernement à gouvernement, de famille à famille, d'individu à individu, la télégraphie électrique, en annulant les distances, comble un vide immense, et devient un bienfait vraiment providentiel et humanitaire d'une portée tellement incommensurable, que ce ne sera pas trop de quelques années encore pour le faire apprécier à sa juste valeur. « Le télégraphe électrique, dit. M. Walker, a une existence à part; il ne peut être remplacé par rien, il fait ce que la poste ne peut pas faire; il distance les pigeons voyageurs, il va plus vite que le vent, il arrache le sablier de la main du temps, et efface les limites de l'espace. Or, pendant qu'il peut arriver que le télégraphe fasse des transports qui pourraient quelquefois s'opérer autrement, il faut que l'on ait recours à lui quand *tous les autres moyens ne sauraient le remplacer*, et quand il faut exécuter un service qu'il serait matériellement *impossible d'accomplir autrement*. Dans un grand pays commercial comme l'Angleterre, et dans un pays où les relations sociales sont si étendues, ces circonstances se présentent à chaque instant, et sont, comme nous le voyons par les dépêches qu'on nous confie, du caractère le plus varié.

« Si nous pouvions soulever le voile des secrets que nos rapports avec le public nous obligent de garder sur la correspondance dont on nous fait les dépositaires, il y aurait de quoi remplir plusieurs volumes d'anxiétés domestiques calmées par la télégraphie électrique. C'est surtout dans les circonstances graves et soudaines que le public a recours à nous, comme on a recours au médecin en cas de maladie. Ces anxiétés ont quelquefois un côté comique; d'autres fois, elles sont excessivement pénibles. Nous avons été chargés de commander un turbot et un cercueil, un dîner

et un médecin, une nourrice au mois et une jaquette de course, une machine industrielle et une chaîne-câble, un uniforme d'officier et des glaces du lac de Wenham, un ecclésiastique et une perruque d'avocat, un étendard royal et un panier de vin, etc. Que d'objets divers les voyageurs de chemins de fer ont retrouvés au moyen du télégraphe! Que de criminels découverts, que de vols prévenus, que de spéculations mauvaises arrêtées à temps, que de marchés conclus, que d'accidents évités!

« La liste suivante, qui est loin d'être complète, donnera quelque idée des diverses espèces et de la multiplicité des services rendus par le télégraphe :

Accidents.	Santé.	Sentences.
Annonces.	Hôtels.	Nouvelles navales.
Rendez-vous.	Jugements.	Récoltes.
Arrivées.	Pertes de bagage.	Douanes.
Arrestations.	Marché.	Morts.
Banquiers.	Médecins.	Départs.
Lits.	Météorologie.	Dépêches.
Billets.	Passagers.	Accidents de convois.
Naissances.	Paiements.	Meurtres.
Séditions.	Polices.	Nouvelles.
Conseils.	Politique.	Nourrices.
Courriers.	Poste aux chevaux, etc.	Ordres.
Élections.	Rapports demandés.	Provisions de mer.
Adultères.	Remises.	Courses.
Témoignages.	Répit.	Témoins.
Fonds et partages.	Vols.	Naufrages.
Gouvernement.	Mouvements royaux.	

« En jetant les yeux sur cette liste, n'est-on pas frappé de la confiance du public dans le télégraphe! Pour adresser à notre ami le plus cher une lettre remplie des plus secrètes pensées de notre cœur, et pour confier un tel document à des mains étrangères, à des hommes que nous n'avons jamais vus, dont nous n'avons aucune idée personnelle, il faut avoir une grande confiance, une grande foi dans les institutions de notre pays. Le facteur de la poste ignore les joies ou

les douleurs qu'il porte; il en est tout autrement avec le télégraphe, nous sommes dans la confidence du public, nous connaissons la nouvelle que nous portons. La preuve que cette confiance est bien placée, c'est l'augmentation progressive dans le nombre et la valeur des dépêches qui nous sont confiées. »

Énumérer tous les services rendus par la télégraphie électrique, serait chose impossible. M. l'abbé Moigno, d'ailleurs, dans son ouvrage de télégraphie électrique, a fait ressortir d'une manière fort curieuse les cas les plus importants qui se sont présentés sur les lignes depuis longtemps établies dans les deux mondes. Nous n'insisterons donc pas sur cette question, et nous réserverons la fin de ce chapitre à quelques applications qui montreront le parti qu'on peut tirer de la télégraphie électrique dans les opérations militaires, à bord des navires et dans quelques cas particuliers.

Application de la télégraphie à bord des navires. — Sur les vaisseaux à vapeur, les ordres sont ordinairement transmis du tillac à la chambre des machines au moyen du porte-voix, et c'est un inconvénient grave pour les personnes du bord dont le repos est sans cesse troublé par des hurlements désagréables. On a eu l'heureuse idée de substituer le télégraphe électrique à ce moyen de communication barbare sur le yacht royal *Victoria et Albert;* l'appareil se compose simplement de deux timbres et de deux cadrans portant les indications suivantes : *en avant*, *en arrière*, *à toute vitesse*, *à demi-vitesse*, *lentement*, *arrêtez.* Avant de transmettre un ordre, l'officier, sur le tillac, fait sonner le timbre du machiniste, et celui-ci à son tour fait sonner le timbre du capitaine pour annoncer qu'il est sur ses gardes. Le capitaine alors, à l'aide de sa manivelle, fait arriver l'aiguille de son cadran sur le signal ou ordre qu'il s'agit de transmettre; l'aiguille du cadran que le machiniste

regarde prend aussitôt la même position, et l'ordre est transmis. Il n'est pas douteux que dans un court délai cette méthode si simple sera partout adoptée.

La télégraphie électrique utilisée en cas d'incendie. — La direction de la bibliothèque royale de Berlin, afin d'obtenir promptement des secours pour combattre tout incendie qui viendrait à éclater dans cet établissement ou dans le voisinage, a fait établir des fils télégraphiques souterrains partant des divers points de la bibliothèque et des logements des principaux conservateurs, et aboutissant à l'état-major du corps des sapeurs-pompiers, où toujours 200 hommes, pourvus du matériel nécessaire, se tiennent prêts à se porter, au premier signal, partout où ils seraient appelés. En outre, la direction de la bibliothèque a fait construire une autre ligne télégraphique, pareillement souterraine, entre l'hôtel de la bibliothèque et celui du ministère de la guerre, auprès duquel il y a un nombreux poste d'infanterie, que le ministre a mis à la disposition de la direction de la bibliothèque pour tout cas d'incendie. Un seul mouvement de l'aiguille du cadran de chacun de ces télégraphes suffit pour annoncer le besoin de secours.

Applications de la télégraphie électrique aux opérations militaires. — Une armée un peu considérable, au moment d'une bataille rangée, se développe sur une grande étendue de terrain. Le général en chef se place avec son état-major dans le lieu le plus convenable pour embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble du champ de bataille, et suivre, autant que possible, les différentes phases du combat. C'est de là, et par l'intermédiaire de ses aides de camp, qu'il transmet aux différents corps de l'armée ses ordres pour les manœuvres à exécuter, suivant les nouvelles qui lui sont apportées, et la manière dont il voit le combat engagé. Souvent le gain d'une bataille dépend de la promptitude avec laquelle ces ordres sont exécutés. Or, avec les moyens or-

dinaires, que de retards peuvent survenir ! L'aide de camp peut être tué, un obstacle insurmontable, une rivière, par exemple, peut le forcer à faire un grand détour, et, pendant ce temps, l'aspect de la bataille peut avoir changé; telle manœuvre qui aurait pu être urgente au moment où elle a été commandée, peut devenir nuisible, et voilà une victoire compromise pour une cause en apparence minime. N'est-ce pas le cas, ou jamais, d'avoir recours à la télégraphie électrique ?

Supposez, en effet, que chaque corps d'armée, et même chaque division, possède un télégraphe électrique portatif, et que tous ces télégraphes soient en rapport avec un télégraphe central, qui sera celui du quartier général. Tous les ordres et toutes les nouvelles pourront être transmis instantanément du général en chef aux différents corps de l'armée, et de ceux-ci au général en chef. Dès lors, la partie peut être jouée savamment, sans que des circonstances accidentelles viennent déranger les combinaisons, et le général peut déployer alors toute sa tactique et son habileté.

Quant à l'application matérielle de ce système de communication, rien de plus facile. Chaque division de l'armée se fait suivre d'un chariot sur lequel est placé le télégraphe avec ses accessoires, c'est-à-dire la pile et les fils conducteurs. Sur ces fils, au nombre de deux, glissent des supports en porcelaine, qui peuvent s'accrocher à la baïonnette d'un fusil, à deux hauteurs différentes, et des hommes postés à distance suffisante, peuvent servir de poteaux ambulants pour le soutien de ces fils.

Les télégraphes portatifs que M. Breguet a destinés aux convois de chemins de fer, remplissent parfaitement les conditions voulues pour cette application. Mais M. Hipp de Berne en a construit de spéciaux pour cet usage qui sont encore beaucoup plus portatifs que ceux de M. Breguet puisqu'ils peuvent être portés en bandoulière dans un

étui de peau, et ne pèsent pas plus de six kilogrammes.

Dans ce télégraphe qui, comme nous l'avons dit page 92, 2e vol., sont établis dans le système Morse les relais et par conséquent la pile locale que ces relais mettent en jeu pour faire fonctionner l'appareil à écrire, sont supprimés. La force mécanique qui résulte de l'aimantation énergique de cette pile se trouve alors remplacée par celle du ressort du barillet (ou du poids) qui commande les roues d'engrenage destinés à produire et à régler le déroulement du papier. Un double râteau sert à transmettre au levier qui porte le style, les mouvements nécessaires; et comme ces mouvements ne durent qu'un temps très-court pour écrire chaque ligne télégraphique point ou trait, ce râteau peut ne présenter qu'un petit nombre de dents, soit pour mener le levier, soit pour être ramené quand l'aimant n'attire plus. Ce râteau porté sur un axe mobile, est alternativement obligé d'engrener avec deux roues de rochet d'acier disposées sur le prolongement des axes des deux avant-derniers mobiles du rouage, lesquels ont même diamètre et tournent avec la même vitesse.

La suppression du relais oblige à placer sur les branches de l'électro-aimant un fil semblable à celui qui se trouvait sur le relais. Enfin, l'armature de cet électro-aimant est elle-même manœuvrée par une tige dont le bouton fait saillie au dehors de la caisse, et remplace le levier-clef des appareils ordinaires.

Dans la caisse renfermant ce télégraphe se trouvent en outre de la provision de papier, les outils nécessaires au démontage et au remontage, une alarme qu'on place à volonté dans le circuit, enfin deux tiroirs renfermant dans des auges en gutta-percha, à douze compartiments, une pile à charbon et à zinc amalgamé qui se charge en remplissant les interstices de verre pilé imbibés d'eau acidulée.

Le télégraphe militaire de M. Hipp fonctionne au besoin comme récepteur et comme manipulateur ; il mesure 9 pouces 1/2 de long sur 4 1/2 de large et 5 de haut. Essayé depuis quelques années dans les camps fédéraux suisses, il a été jugé très-satisfaisant.

Les télégraphes électriques ont été employés avec succès pendant la guerre de Crimée. Seulement les appareils étaient beaucoup moins simples que ceux dont nous venons de parler, puisqu'il fallait deux chariots attelés de six chevaux pour transporter le matériel télégraphique. Il est vrai que ce système télégraphique avait été combiné en vue d'établir une relation télégraphique entre l'armée de terre et la flotte, avec la possibilité de correspondre à une distance de 10 à 12 milles anglais.

Transmission électrique de la parole. — Je n'ai pas voulu faire figurer au chapitre de la télégraphie électrique une conception fantastique d'un certain M. Ch. B*** qui croit que l'on pourra arriver à transmettre électriquement la parole, car on aurait pu me demander pourquoi j'avais classé auprès de tant d'inventions remarquables une idée qui, présentée comme elle l'est par son auteur, n'est qu'à l'état de rêve. Cependant, comme je dois être fidèle au rôle que je me suis imposé de parler de toutes les applications électriques qui seraient à ma connaissance, je vais rapporter ici les quelques renseignements que l'auteur a publiés jusqu'ici à ce sujet.

« Après les merveilleux télégraphes qui peuvent reproduire à distance l'écriture de tel ou tel individu, et même des dessins plus ou moins compliqués, il semblerait impossible, dit M. B***, d'aller plus en avant dans les régions du merveilleux. Essayons cependant de faire quelques pas de plus encore. Je me suis demandé, par exemple, si la parole elle-même ne pourrait pas être transmise par l'électricité ; en un mot, si l'on ne pourrait pas parler à Vienne et se

faire entendre à Paris. La chose est praticable. Voici comment :

« Les sons, on le sait, sont formés par des vibrations et apportés à l'oreille par ces mêmes vibrations que reproduisent les milieux intermédiaires.

« Mais l'intensité de ces vibrations diminue très-rapidement avec la distance; de sorte qu'il y a, même en employant des porte-voix, des tubes et des cornets acoustiques des limites assez restreintes qu'on ne peut dépasser. Imaginez que l'on parle près d'une plaque mobile, assez flexible pour ne perdre aucune des vibrations produites par la voix; que cette plaque établisse et interrompe successivement la communication avec une pile. Vous pourrez avoir à distance une autre plaque qui exécutera en même temps les mêmes vibrations.

« Il est vrai que l'intensité des sons produits sera variable au point de départ où la plaque vibre par la voix et constante au point d'arrivée où elle vibre par l'électricité. Mais il est démontré que cela ne peut altérer les sons.

« Il est évident d'abord que les sons se reproduiraient avec la même hauteur dans la gamme.

« L'état actuel de la science acoustique ne permet pas de dire *à priori*, s'il en sera tout à fait de même des syllabes articulées par la voix humaine. On ne s'est pas encore suffisamment occupé de la manière dont ces syllabes sont produites. On a remarqué, il est vrai, que les unes se prononcent des dents, les autres des lèvres, etc., mais c'est là tout.

« Quoi qu'il en soit, il faut bien songer que les syllabes ne reproduisent exactement rien autre chose que les vibrations des milieux intermédiaires; reproduisez exactement ces vibrations et vous reproduirez exactement aussi les syllabes.

« En tout cas, il est impossible de démontrer dans l'état

actuel de la science que la transmission électrique des sons est impossible. Toutes les probabilités, au contraire, sont pour la possibilité.

« Quand on parla pour la première fois d'appliquer l'électro-magnétisme à la transmission des dépêches, un homme, haut placé dans la science, traita cette idée de sublime utopie, et cependant aujourd'hui on communique directement de Londres à Vienne par un simple fil métallique. — Cela n'était pas possible, disait-on, et cela est.

« Il va sans dire que des applications sans nombre et de la plus haute importance surgiraient immédiatement de la transmission de la parole par l'électricité.

« A moins d'être sourd et muet, qui que ce soit pourrait se servir de ce mode de transmission, qui n'exigerait aucune espèce d'appareil. Une pile électrique, deux plaques vibrantes et un fil métallique suffiraient.

« Dans une multitude de cas ; dans de vastes établissements, par exemple, on pourrait par ce moyen transmettre à distance tel ordre ou tel avis, tandis qu'on renoncera à opérer cette transmission par l'électricité, dès lors qu'il faudra procéder lettre par lettre, et à l'aide de télégraphes exigeant un apprentissage et de l'habitude.

« Quoi qu'il arrive, il est certain que dans un avenir plus ou moins éloigné, la parole sera transmise à distance par l'électricité. J'ai commencé des expériences à cet égard ; elles sont délicates et exigent du temps et de la patience. Mais les approximations obtenues font entrevoir un résultat favorable. »

Télégraphie électrique des cimetières. — Nous signalons avec bonheur, dit le *Cosmos* du 8 septembre 1854, une nouvelle application du télégraphe ou plutôt des timbres électriques. De son bureau, situé à l'entrée du cimetière Montmartre ou du Nord, lorsque le conservateur voudra parler à l'un des gardiens, celui-ci fût-il à l'extrémité du

cimetière, il lui suffira de toucher un bouton pour que son appel soit entendu à l'instant même. Trois timbres placés sur trois points différents sont mis en communication avec le bureau à l'aide des fils conducteurs qui, enfouis en terre et recouverts d'une épaisse couche de gutta-percha, courent dans toutes les directions, sans que l'œil puisse jamais les percevoir. Grâce à cette innovation, on n'entendra plus dorénavant le long et lugubre coup de sifflet qui retentissait jusqu'ici à l'entrée de chaque convoi amenant un corps à sa dernière demeure.

Télégraphes pour le service des sapeurs-pompiers. — On va établir très-prochainement à Caen, grâce au zèle éclairé de M. Antonio Paysant, un système télégraphique pour le service des sapeurs-pompiers. Dans les villes de province, où ce corps n'est pas enrégimenté comme à Paris et dans les grandes capitales, il arrive souvent qu'on ne peut réunir les hommes qui le composent que longtemps après l'annonce des sinistres, et alors non-seulement les dégâts sont aggravés, mais encore le feu devient plus difficile à éteindre. Pour remédier à cet inconvénient, M. Antonio, capitaine des sapeurs-pompiers à Caen, a proposé d'établir des communications électro-télégraphiques : 1° entre l'hôtel de ville, où l'annonce des sinistres doit être faite, et sa maison; 2° entre sa maison et la demeure de ceux des chefs des sapeurs-pompiers qui habitent des quartiers différents de la ville. Ayant été consulté pour l'établissement de ce système télégraphique, j'ai conseillé, par mesure d'économie et comme étant bien suffisant, puisque les signaux dont on a besoin pour ce service peuvent se réduire à huit ou dix, le système de sonneries télégraphiques de M. Mirand, avec un système particulier de conjoncteur pour éviter l'emploi d'un trop grand nombre de fils. Voici alors comment s'effectuerait le service :

Au moment de l'annonce d'un sinistre à l'hôtel de ville,

le gardien de cet établissement préviendrait le capitaine des sapeurs-pompiers par un coup de sonnette. Celui-ci, en répondant qu'il a entendu, demanderait, par un signal de convention, de quelle nature est le sinistre et dans quelle direction de la ville il s'est manifesté. Sur la réponse du gardien de l'hôtel de ville, réponse qui n'exigerait que deux sortes de signaux, le capitaine jugerait immédiatement de la quantité d'hommes qui lui seraient nécessaires, et par sa communication électrique avec les chefs les plus voisins du lieu du sinistre, il les avertirait de faire mettre tant d'hommes sur pied et de se diriger dans telle direction. Il suffirait encore de deux sortes de signaux pour la transmission de cet ordre. Voici comment pourraient être combinés ces signaux : en représentant, comme nous l'avons déjà fait, les roulements de la sonnerie par le signe — et les coups isolés par le signe .

—	Avertissement. — Réponse.
— .	Incendie de peu d'importance. — Petit nombre d'hommes.
— —	Incendie de grande importance.— Tout le monde sur pied.
. .	Nord.
. . —	Nord-est.
. — .	Est.
— . .	Sud-est.
. . .	Sud.
. . . —	Sud-ouest.
. — . .	Nord-ouest.

Autres applications de la télégraphie électrique. — En Amérique, la télégraphie électrique est mise à contribution pour les choses même en apparence les plus futiles. Ainsi, il n'est pas rare de voir une correspondance établie entre deux villes pour une partie d'échecs ou pour des paris. D'autres fois on s'informe du temps qu'il fait en différents points du territoire, pour savoir si un navire peut mettre à la voile en toute sécurité.

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ AUX BEAUX-ARTS

La faculté que possède l'électricité de mettre en mouvement des lames métalliques et de les faire vibrer, a pu être utilisée à la production de sons distincts susceptibles d'être combinés et harmonisés ; mais, en outre de cette application toute physique, l'électro-magnétisme a pu venir en auxiliaire à certains instruments, tels que pianos, orgues, etc., pour leur donner la facilité d'être joués à distance ou pour conserver les traces de leur jeu.

Ainsi, jusque dans les arts, en apparence les moins susceptibles de recevoir de l'électricité quelque application, cet élément si extraordinaire a pu être d'un secours utile.

Diapason électrique de M. Lissajoux. — Nous avons vu, p. 444, 1er vol., comment les rhéotomes de de la Rive, appelés vulgairement *trembleurs*, devaient être disposés pour produire des sons différents. En disposant les uns à côté des autres un certain nombre de ces appareils, réglés suivant la gamme, on pourrait donc obtenir un instrument de musique qui pourrait être joué comme un piano et qui aurait les sons des instruments à anches.

Si le courant de la pile était constant, un pareil instrument pourrait avoir quelques avantages sur les autres instruments à anches dont on se sert, en ce sens qu'on aurait une vibration aussi prolongée qu'on le voudrait pour chaque note, et que les sons seraient plus veloutés. Mais l'inégalité d'action de la pile rend cette application électrique impossible. Aussi ne s'est-on guère servi de ce genre d'appareils que comme régulateurs auditifs de l'intensité des piles, régulateurs infiniment plus commodes que les rhéomètres, puisqu'ils peuvent faire apprécier les différentes variations d'une pile pendant une expérience, sans qu'on soit obligé d'en détourner son attention.

M. Lissajoux a essayé d'appliquer, dernièrement, ce mode

de vibration pour l'entretien du son des diapasons. Pour obtenir cet effet, il adapte aux deux branches de ces diapasons, solidement fixés sur un bâti de bois, deux armatures de fer doux, et, en face de ces armatures, il place deux électro-aimants interposés dans le circuit d'un rhéotome de de la Rive, disposé de manière à pouvoir être réglé, sans cependant produire de sons. Il résulte du jeu de cet appareil que les électro-aimants du diapason exercent sur les deux branches de celui-ci une série d'attractions et de répulsions qui produisent un mouvement vibratoire complétement synchronique avec celui du rhéotome. Si donc le jeu de ce rhéotome est réglé de manière à correspondre aux vibrations du diapason qui, elles, ne peuvent pas varier, les sons produits par celui-ci se trouveront prolongés indéfiniment. La manière de régler le rhéotome est facile, car ce n'est que quand le synchronisme de vibrations des deux instruments est atteint que l'appareil fonctionne. Dans le cas contraire, aucun son n'est produit.

Pianos et orgues électro-magnétiques. — Si l'électro-magnétisme est employé comme intermédiaire entre le clavier et la partie de ces instruments qui doit produire les sons, on comprend que le problème de leur jeu à distance devient facile à résoudre; il suffit pour cela de faire agir sur les marteaux du piano ou sur les soupapes des tuyaux de l'orgue, des électro-aimants susceptibles de reproduire la pression exercée par le doigt. Le clavier transmetteur n'agit alors que comme interrupteur du courant. Il va sans dire qu'il faut autant de fils que de notes; mais, comme tous ces fils peuvent être réunis et ne former qu'un câble, ils sont peu embarrassants. M. Froment a construit plusieurs instruments de cette nature, et même un piano à timbres, dans lequel les sons sont produits par des coups secs, frappés sur des timbres de différents diapasons.

On conçoit, d'ailleurs, qu'avec ce système, plusieurs in-

struments peuvent être joués à la fois par le même artiste; il ne s'agit pour cela que d'établir autant de dérivations du courant qu'il y a d'instruments à faire mouvoir.

Enregistreur des improvisations musicales de M. Th. du Moncel. — On a construit, il y a quelques années, des pianos au moyen desquels un improvisateur pouvait enregistrer un morceau en même temps qu'il le jouait; mais le mécanisme en était assez compliqué et susceptible de dérangement. En ayant recours à l'électro-magnétisme, on peut résoudre le problème d'une manière beaucoup plus simple et sans rien changer au mécanisme des pianos ordinaires, car l'appareil enregisteur peut être tout à fait indépendant et placé en tel endroit qu'il convient.

Le principe de mon système consiste à faire réagir électriquement les touches d'un piano sur un petit clavier composé d'aiguilles de fer mis à portée d'un mécanisme enregistreur électro-chimique.

L'appareil que j'ai fait construire, il y a quatre ans, dans ce but, se compose de trois parties : 1° d'un mécanisme moteur dont la marche est régularisée; 2° d'un système électro-magnétique de détente et d'arrêt; 3° d'un appareil enregistreur. Les fig. 5 et 6, pl. II, représentent l'élévation et le plan de cet appareil.

Le mécanisme moteur n'est autre chose qu'un mouvement de tourne-broche, dont la vis sans fin A B, fig. 5, porte un disque d'embrayage C C, et se termine par un système de quatre ailettes adaptées à un tourniquet à encliquetage D, afin d'éviter l'arrêt brusque du mécanisme au moment du renclanchement de la détente. L'axe E F, fig. 6, du second mobile se prolonge en dehors des tringles de support pour correspondre au moyen d'une boîte d'engrenage avec l'axe du cylindre enregistreur X. De cette manière, ce cylindre participe au mouvement du mécanisme moteur.

Le système de détente et d'arrêt se compose de deux

électro-aimants M M, M′ M′, disposés de manière à constituer un rhéotome de Tyer analogue à celui que nous avons décrit page 292, 1er vol. Sous l'influence du ressort antagoniste de l'armature de l'électro-aimant M M, la dent *a* du disque d'embrayage se trouve butée contre la dent *b* de l'armature, et le mécanisme est arrêté; mais, quand le courant est fermé à travers l'électro-aimant M M, le disque se trouve dégagé, et son armature vient s'embrider dans la boucle G de l'armature de l'électro-aimant M′ M′, qui la maintient écartée du disque D. Tant qu'un courant ne vient pas à passer à travers cet électro-aimant M′ M′, le mécanisme moteur reste donc dégagé; mais sitôt que le courant est fermé à travers cet électro-aimant, la première armature se trouve dégagée à son tour et arrête le mécanisme d'horlogerie. Il ne s'agit donc, pour mettre l'appareil en marche et l'arrêter, que de toucher alternativement deux boutons interrupteurs analogues à ceux de la fig. 1, pl. III, 1er vol., et ces boutons se trouvent placés soit sur les côtés du piano, soit au-dessous de la tablette du clavier de ce piano.

Le mécanisme enregistreur se compose : 1° de deux cylindres X et Y formant laminoirs; 2° d'un râteau K L armé des aiguilles d'acier destinées à agir sur le papier chimique; 3° d'une planche N O portant une éponge imprégnée d'eau et de chlorure de calcium; 4° d'un rouleau P sur lequel le papier chimique est en provision. Ce rouleau est, comme dans les télégraphes électro-chimiques, placé dans une boîte au fond de laquelle se trouve un vase rempli d'eau, afin de maintenir toujours humide l'air de la boîte. Le papier chimique passe à travers cette boîte par une étroite ouverture, et, après s'être enroulé sur le cylindre X, se trouve pris entre les deux cylindres qui le font avancer sous les aiguilles du laminoir d'une manière uniforme. Le cylindre X est revêtu d'une chemise de cuivre étamée, et sur sa sur-

face appuie une espèce de racloir S T destiné non-seulement à conduire le courant dans cette garniture de cuivre, mais encore à décoller le papier de dessus le cylindre, quand il s'y trouve maintenu par suite de la pression exercée par le cylindre Y sur le cylindre X, pression nécessaire pour le détirement régulier du papier, et que l'on obtient en adaptant, sous les tourillons de l'axe du cylindre Y, des lames de ressort *r*, fig. 5.

Les aiguilles du râteau K L sont constituées par des fragments de ressorts de montre maintenus sur le plancher K L au moyen de vis à bois. Les trous à travers lesquels passent ces vis sont allongés en forme de rainure, de manière à pouvoir allonger ces ressorts au fur et à mesure de leur usure. Chaque ressort communique par un fil à une tête de clou ou à un bouton d'attache fixé sur la tablette qui sert de support à l'appareil, et pour que ces fils ne communiquent pas entre eux, ils sont repliés au-dessus d'un tube de verre *xy* adapté à la partie supérieure d'un des montants de l'appareil. Un levier articulé V, chargé d'un contre-poids, fait appuyer convenablement le râteau sur le cylindre X de manière que tous les ressorts touchent le papier chimique, et c'est pour cela que la planche K L est articulée en *gh*.

La planche à éponge N O est également articulée en *m n*, et se trouve supportée par un système de leviers *r t s*, qui est commandé par l'électro-aimant M′ M′. Cette planche porte, fixée au-dessous d'elle, une longue éponge que l'on humecte d'eau par la rainure *op*. En temps ordinaire, cette planche est maintenue soulevée au-dessus de la feuille de papier par un contre-poids adapté à l'extrémité *r* du levier-bascule *r t;* mais quand l'appareil est mis en action, une cheville fixée sur l'une des roues du mécanisme moteur, soulève ce levier *r t*, et vient l'accrocher sur un petit crochet flexible *u*, comme nous l'avons expliqué page 294,

1er vol.; alors l'éponge appuie sur la bande de papier, qui se trouve ainsi fortement humectée avant l'impression chimique. Une deuxième éponge W, placée au-dessous de la planche N O, est chargée de mouiller la surface inférieure de cette même bande de papier, quand celle-ci est déprimée par suite de l'abaissement de la première éponge.

Lorsque le mécanisme moteur est arrêté, un levier coudé X, porté par l'armature de l'électro-aimant M′ M′, appuie contre le crochet *u* et dégage le levier *r t*, qui entraîne alors la planche O N; alors la feuille de papier n'est plus en contact avec les éponges.

Ce système mécanique pour mouiller le papier avait été combiné avant l'invention du papier chimique hygrométrique, et il était alors indispensable. Mais avec ce dernier papier, il devient à peu près inutile, surtout si l'on renferme le rouleau au papier dans une boîte, comme nous l'avons expliqué plus haut.

L'appareil transmetteur, que nous représentons vu en coupe dans la gravure ci-dessous, consiste dans une série de

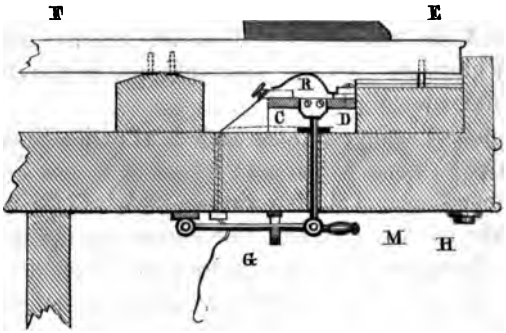


Fig. 2.

ressorts d'acier R recourbés en col de cygne et fixés sur la planche C D, de manière que chacun d'eux se trouve

sous une touche EF du piano. Il y a donc autant de ressorts que de touches sur le piano, c'est-à-dire 82. Au-dessous de chaque ressort se trouve une lame de cuivre communiquant, à l'aide d'un bouton, avec un fil particulier allant à l'une des aiguilles du récepteur; et tous ces fils réunis en câble passent à l'intérieur du piano pour en ressortir par la partie inférieure, et regagner de là l'enregistreur. Afin de ne pas encombrer inutilement le mouvement des touches, quand on n'a pas de morceau à enregistrer, la planche CD est soutenue sur une forte traverse de fer vissée à l'extrémité de deux leviers verticaux articulés sur des bascules M. Ces leviers se meuvent dans deux trous pratiqués à travers la table du piano, et les bascules M étant soulevées peuvent être maintenues dans cette position par des crochets à ressort G; alors la planche CD se trouve à la hauteur nécessaire pour recevoir la réaction des touches du piano; mais quand les ressorts G sont écartés, la planche CD s'abaisse et le clavier devient complétement libre. Enfin au-dessous de la table du clavier sont placés deux boutons transmetteurs HH′ qui correspondent l'un à l'électro-aimant de détente, l'autre à l'électro-aimant d'arrêt M′M′. De cette manière, le musicien peut à son gré, et sans se déranger, enregistrer les morceaux qu'il improvise.

Le jeu de cet appareil se devine aisément. Au moment où l'on touche le bouton M, l'enregistreur est mis en mouvement, et dès lors chaque note que l'on touche a pour effet secondaire la fermeture d'un courant à travers l'un des ressorts d'acier de l'enregistreur. Plus on appuie de temps sur cette note, plus est long le trait laissé sur le papier chimique par le ressort correspondant; de même, plus l'intervalle de temps entre deux notes touchées est considérable, plus l'espace blanc qui sépare les traits correspondants à ces notes est large, et la hauteur de ces traits sur la feuille peut désigner la nature de la note. On a donc ainsi les élé-

ments nécessaires pour connaître non-seulement l'ordre de succession des différentes notes qui composent le morceau, mais encore leur valeur, les poses qui existent entre elles et la mesure dans laquelle le morceau a été joué.

Pour traduire en langage musical ordinaire un morceau ainsi inscrit, il suffit d'appliquer sur la feuille de papier chimique, à partir d'une ligne de repère fournie par le dernier des 82 ressorts d'acier, une feuille de papier à calquer sur laquelle ont été tracées 82 lignes correspondant exactement aux ressorts traçants. Comme ces 82 lignes sont divisées en huit zones diversement coloriées et correspondant aux différentes octaves du piano, il devient facile de distinguer quelles sont les différentes notes enregistrées, et la longueur du trait représentant une blanche, comparée à une échelle tracée d'avance et réglée d'après le métronome, permet d'apprécier le mouvement dans lequel le morceau a été joué.

Comme le courant électrique peut se bifurquer indéfiniment dans les réactions électro-chimiques, plusieurs notes touchées à la fois peuvent être aussi bien inscrites qu'une seule, et ce résultat, qui ne pourrait jamais s'obtenir avec des électro-aimants, rend ce système d'enregistrement électrique indispensable dans cette application.

Pianos ou orgues mis en jeu par une petite boîte à musique. — Puisqu'il ne s'agit, dans les pianos et orgues électro-magnétiques, que de fermer l'un ou l'autre des différents circuits correspondant à telles ou telles notes pour faire agir leurs marteaux ou leurs soupapes, on conçoit aisément que le même effet peut être exécuté par une machine sur laquelle les airs ou les morceaux auront été notés d'avance, comme dans les serinettes, les orgues de barbarie, les boîtes ou horloges à musique. Il faut simplement que le cylindre à chevilles qui rencontre les ressorts vibrants soit métallique et en rapport avec l'une des branches du cou-

rant, et que les lames vibrantes soient isolées les unes des autres et toutes en rapport avec les électro-aimants des pianos ou orgues électro-magnétiques par des fils métalliques spéciaux. Alors, un simple mouvement d'horlogerie, une petite boîte pas plus grande qu'une tabatière, peut mettre en jeu des orgues de la plus grande dimension, des pianos distribués en différentes places; et cela, à quelque distance qu'on le désire, et sans qu'au premier abord personne ne puisse se douter quel est le musicien mystérieux et invisible qui met en marche des instruments si puissants.

Métronome électrique. — Lors du concert monstre qui a eu lieu à l'occasion de la distribution des médailles de l'exposition universelle de 1855, le chef d'orchestre avait employé pour diriger son orchestre un métronome qu'il faisait fonctionner au moyen de l'électricité. On attribuait alors cette invention à un Belge; mais une réclamation de priorité insérée dans le *Pilote du Calvados* peu après ce concert semblerait attribuer cette invention à un mécanicien de Bayeux appelé M. Tassine. J'ai écrit à cet industriel pour avoir des renseignements plus complets à ce sujet, mais il n'a pas daigné me répondre. Dans l'impossibilité de fournir des détails à cet égard, je me contenterai de reproduire ici la réclamation de M. Tassine, insérée dans le numéro du 13 décembre du *Pilote du Calvados :*

Nous lisons dans l'*Indicateur de Bayeux :*

« Dans un article publié à propos du grand et magnifique concert exécuté lors de la clôture de l'exposition universelle, le *Pilote du Calvados*, faisant avec raison l'éloge de l'emploi du métronome électrique pour la direction simultanée de plusieurs orchestres, semble en attribuer l'invention à M. Werbrugghe, mécanicien belge, et ajoute: *En France, on ne le connaît pas encore.*

« Nous venons protester contre cette assertion. Nous sommes sûr que le patriotisme de notre confrère nous saura gré de notre réclamation, et qu'il sera, comme nous, heureux de pouvoir revendiquer pour notre pays la portion de gloire, si petite qu'elle soit, qui lui revient dans cette nouvelle et ingénieuse application de l'électricité.

« Déjà, dans une autre occasion, un Belge avait apporté à Paris sa *découverte* sur les instruments de musique à pistons sans angles, et se croyait sûr du succès. Mais il avait compté sans notre modeste et habile artiste bayeusain, M. Tassine, dont l'*invention* sans rivale lui fit reprendre immédiatement le chemin de la Belgique.

« C'est encore le même M. Tassine qui vient disputer à un autre Belge l'honneur de la priorité dans l'emploi du métronome électrique.

« Dans le courant du mois de *septembre dernier*, il a établi et fait fonctionner un appareil semblable dans la cathédrale de Bayeux. Le maître de chapelle, en dirigeant le chœur des exécutants, a *les deux mains entièrement libres:* un léger mouvement de la pointe du pied lui suffit pour communiquer à l'organiste, par le fil conducteur, tous les temps de la mesure, qu'il marque en même temps de la main droite aux artistes qui l'entourent. Il est à remarquer que l'organiste, placé dans une tribune complétement isolée, ne peut voir le chef d'orchestre, ni même entendre les exécutants.

« Ce métronome électrique, de la plus grande simplicité et d'un prix relativement peu élevé, n'a cessé de fonctionner, avec la plus grande régularité et la plus exacte précision, depuis le service funèbre célébré pour nos soldats morts en Crimée.

« Quant à conduire à la fois quatre orchestres placés aux quatre extrémités de la terre, cela n'offre pas plus de difficulté que d'en conduire vingt-cinq mille, puisqu'il suffirait

de multiplier les fils et de rendre plus puissante la batterie.

A. DELARUE. »

N. du Réd. — Notre patriotisme sait à M. Delarue le meilleur gré de sa réclamation, et nous sommes heureux, comme notre honorable confrère, de proclamer bien haut — aujourd'hui — que l'*invention et la première application du métronome électrique sont dus à un artiste bayeusain, à M. TASSINE, luthier.*

Signé : LE CAMUS.

Machine à graver électro-magnétique de M. W. Hansen, de Gotha. — Cette machine est construite à peu près sur le principe bien connu de la machine à raboter. Le dessin qu'il s'agit de copier et la planche qu'on veut graver sont placés l'un à côté de l'autre sur la table ou chariot mobile de la machine; un index ou *toucheur* est combiné de telle manière, à l'aide d'une barre horizontale, avec un burin, que lorsque la barre entre en mouvement, le dessin qu'on veut copier passe sous le toucheur, et que la planche qu'on doit graver marche d'une manière correspondante sous le burin. On voit que, dans ces conditions, on trace une taille continue sur la planche, et qu'en donnant au chariot un mouvement latéral, on fait soit une série de tailles parallèles, soit une série de lignes qui couperont les premières sous un angle quelconque, le toucheur passant d'une manière correspondante sur le dessin.

Maintenant, si on parvenait à trouver un moyen pour que le burin agisse seulement quand la pointe du toucheur passe sur certaines portions seulement du dessin, il est clair qu'on aurait une planche gravée ligne pour ligne avec l'objet copié. C'est à quoi l'on parvient en plaçant le burin sous le contrôle de deux électro-aimants agissant alternativement, l'un pour relever le burin sur la planche, l'autre

pour l'abaisser et le presser sur celle-ci. La spirale qui enveloppe un de ces aimants est en rapport avec le toucheur, qui est en métal.

Le dessin est tracé sur une surface métallique ou conductrice avec une encre à la résine ou toute autre matière non conductrice. On établit alors un courant électrique de manière que quand le toucheur repose sur la surface métallique, ce courant passe par les spirales de l'aimant et relève le burin de dessus la planche à graver. Mais aussitôt que le toucheur porte sur le dessin et passe sur les traits de l'encre isolante, le courant électrique est interrompu, l'aimant cesse d'agir et par l'effet d'un relais se trouve dirigé à travers le second électro-aimant en agissant puissamment sur le burin, l'appliquant et le pressant sur la planche.

L'opération se répétant jusqu'à ce que le toucheur ait passé suivant des lignes parallèles sur toute l'étendue du dessin, on obtient ainsi une planche gravée à une profondeur uniforme, et qui est un fac-simile du dessin. On fait alors de cette planche un cliché, qui est la représentation en relief du dessin, et qui sert à l'impression typographique ordinaire.

Comme on peut en juger par ce simple aperçu, cette machine n'est autre, quant à son principe, que le télégraphe autographique de M. Backwell; seulement, au lieu d'une pointe de fer qui laisse sur le papier recouvert de cyanure de potassium une trace bleue au moment du passage du courant, c'est un burin qui grave un trait, et au lieu que ce soient deux mécanismes d'horlogerie isochrones qui fassent exécuter à la pointe de fer et au toucheur des mouvements de va-et-vient isochrones, c'est, dans la machine à graver, un même mouvement.

Qu'il me soit maintenant permis de manifester un doute sur l'emploi de cette machine comme moyen économique,

surtout comparativement au système de M. Salmon, de Chartres, dont nous croyons devoir parler ici, bien qu'à vrai dire ce procédé se rapporte aux applications chimiques de l'électricité. Les tailles en effet, par la machine à graver, ne peuvent être parfaitement nettes; elles doivent être, comme les reproductions obtenues par le télégraphe autographique, tremblées et pointillées. Il est donc nécessaire qu'on y retouche, et alors la gravure photographique, et encore mieux la gravure par le système Salmon, deviennent préférables.

Système de gravure électrique de M. Salmon. — Le procédé de M. Salmon, de Chartres, s'applique principalement à la reproduction des dessins, des gravures et des photographies; il est tellement simple que toute personne complétement étrangère à l'art du dessin et de la gravure peut le mettre aisément à exécution.

Pour la reproduction des dessins, il faut autant que possible que ces dessins soient faits sur du papier préparé à la gelatine et au blanc de zinc, et avec un crayon de zinc. Cette manière de dessiner, d'ailleurs, ne présente pas plus de difficulté que le dessin à la mine de plomb ordinaire.

Ces précautions ayant été une fois prises, on expose la feuille dessinée à la vapeur d'iode, absolument comme quand on iodure une plaque daguerrienne, et afin d'égaliser le dégagement des vapeurs d'iode, on mêle à cette substance de la magnésie. Sous l'influence de cette vaporisation, les particules de zinc, qui sont laissées par le crayon sur le papier préparé, forment un iodure de zinc, de sorte que le dessin, de noir qu'il était, passe au rouge. Immédiatement après cette préparation, on applique la feuille sur une planche de cuivre jaune, et on la soumet, au moyen d'une presse lithographique, à une pression très-rapide qui fixe l'iodure de zinc sur le cuivre. Toutefois, le dessin n'est pas dans cet état visible sur la planche de

cuivre, et pour le faire apparaître, il est nécessaire de frotter cette planche avec un tampon de coton légèrement imprégné de mercure; il faut même que cette opération suive immédiatement et le plus rapidement possible l'impression du dessin sur la planche, afin que l'iodure de zinc ne s'évapore pas. Après cette opération, le dessin apparaît en blanc sur un fond jaune. Alors, avec un rouleau d'impression lithographique imprégné d'encre typographique, on recouvre de noir toute la planche de cuivre, et il n'y a que les parties qui ont été recouvertes de mercure qui ne prennent pas l'encre. Après que cette couche d'encre a été séchée, et que le mercure recouvrant le cuivre a été enlevé au moyen d'une simple évaporation ou d'un lavage au nitrate d'argent ou à l'acide nitrique, la planche est soumise à l'action électrique, en servant d'électrode soluble à un bain de sulfate de cuivre traversé par un courant. Pour cela, il suffit que cette planche soit attachée au pôle positif de la pile qui doit agir sur le bain de sulfate de cuivre. Il arrive alors que les portions dénudées de la planche se trouvent attaquées et se creusent sous l'influence du courant, tandis que les autres parties se trouvent ménagées par l'enveloppe isolante dont elles sont recouvertes.

On pourrait avec ce procédé se passer de l'action électrique, en faisant mordre la planche avec de l'eau-forte, comme pour les gravures ordinaires.

Le même procédé peut être employé pour la reproduction des gravures; seulement, on est obligé de gélatiniser le papier sur lequel elles sont imprimées, ce que l'on fait facilement en l'imprégnant par derrière de gélatine très-claire. Comme l'encre grasse est facilement attaquée par l'iode, les traits de la gravure se trouvent exactement dans le même cas que les traits laissés par le crayon de zinc, et le reste de l'opération se conduit comme nous l'avons expliqué précédemment.

Au lieu de faire creuser le dessin par l'action de la pile, on pourrait par le même moyen, mais en intervertissant la disposition des pôles de la pile et en prenant un bain convenable, faire déposer sur les parties dénudées de la planche de cuivre une légère couche de fer. Alors, après avoir enlevé l'encre grasse dont cette planche est recouverte et avoir imprégné de mercure toutes les parties non recouvertes de fer, ce qui est facile puisque le mercure n'attaque pas ce dernier métal, on peut imprimer le dessin à la manière des lithographies, puisque alors l'encre ne s'attache qu'aux parties ferrées de la planche.

Pour la reproduction des photographies, le procédé est un peu plus compliqué. Il faut d'abord prendre un positif de ces photographies sur verre, et polir la plaque de cuivre destinée à recevoir la gravure comme une véritable plaque daguerrienne. On iodure cette plaque comme s'il s'agissait de faire une épreuve au daguerréotype, puis on place au-dessus le positif, et on expose le tout à une lumière assez vive. Au bout du temps qu'on a jugé nécessaire pour l'opération, et qui est, en général, assez long, on frotte de mercure la plaque de cuivre. Alors, les parties attaquées par la lumière sont les seules qui ne prennent pas le mercure; par conséquent, ce sont celles qui se trouvent recouvertes d'encre et qui ne sont pas attaquées par la morsure de la planche. Tout le reste de l'opération s'effectue exactement comme pour la reproduction des dessins.

Comme on le voit, ces procédés sont excessivement simples et les résultats obtenus sont réellement merveilleux. M. Salmon publie en ce moment une collection de dessins de Gavarni que l'on prendrait pour des originaux.

Application de l'électricité à la photographie. — Il y a déjà quelques années on avait tenté d'associer l'électricité aux opérations photographiques pour accélérer le temps de l'impression de l'image. Il y avait même à l'exposition de

Londres un appareil photographique tout monté avec sa pile. Mais la sensibilité déjà si grande qu'on a pu donner aux substances impressionnables dans ces derniers temps avait fait oublier complétement l'emploi de l'électricité. Dernièrement, M. Campbell, en Amérique, a mis à profit cette propriété de l'électricité pour hâter l'impression de la lumière colorée, impression qui est fort longue en raison du peu de sensibilité du chlorure d'argent. M. Campbell a donc fait communiquer sa plaque avec le conducteur positif d'une pile, en même temps que les extrémités des fils plongeaient dans de l'eau acidulée, afin que l'on pût juger par la quantité des gaz dégagés de l'intensité du courant. Puis il soumettait la plaque exposée à la lumière à l'action du gaz naissant, et il obtenait ainsi, en quatre ou cinq minutes, des images colorées qu'on n'obtient autrement qu'en quatre ou cinq heures.

Application de l'électricité à la physique amusante. — L'électricité joue actuellement un grand rôle dans beaucoup de tours de la physique amusante. Tantôt au moyen d'électro-aimants, habilement dissimulés au regard, on fait devenir instantanément pesante une boîte qui ne l'était pas; tantôt on fait sortir de l'une des parois d'une boîte de cristal suspendue à une corde et mise en mouvement d'oscillation plusieurs pièces de monnaies qui ont été empruntées; tantôt encore on fait marcher des hommes au plafond la tête en bas. Tous ces tours ne sont dus qu'à des combinaisons d'électro-aimants qu'il est bien facile de deviner. Je n'en parlerai pas ici, car, bien que ce soient des applications importantes pour les prestidigitateurs, elles sont loin de l'être aux yeux des personnes sérieuses auxquelles cet ouvrage est adressé.

VI

MOTEURS ÉLECTRIQUES.

On a cherché, depuis plusieurs années, à employer l'effet attractif des électro-aimants ou les effets dynamiques des courants comme force motrice. Cette question occupe encore aujourd'hui bien des têtes, et, à l'ardeur que l'on déploie pour résoudre le problème, on dirait qu'il ne s'agit de rien moins que de la découverte de la pierre philosophale en mécanique.

Sans doute la création d'un moteur inexplosible, qui n'aurait besoin de personne pour avoir sa marche entretenue, que l'on pourrait placer en tel endroit qu'il conviendrait sans nécessiter un emplacement particulier, que l'on pourrait faire fonctionner avec plus ou moins de force suivant les divers travaux auxquels on voudrait le soumettre, enfin dont le matériel serait peu encombrant; sans doute la découverte d'un pareil moteur serait très-importante surtout pour les petites industries. Mais il ne faut pas se faire trop d'illusions à cet égard. Ce n'est pas dans les perfectionnements et les combinaisons mécaniques qu'il faut chercher la solution du problème, c'est bien plutôt dans l'affranchissement des inconvénients qui sont inhérents à la force motrice elle-même. Or, ces inconvénients sont tellement complexes, et les effets qui en sont la conséquence tellement contradictoires, qu'on peut presque dire que les moteurs qui réussissent le mieux en petit sont précisément ceux qui donnent les plus mauvais résultats en grand, quand toutefois ils en donnent, ce qui n'arrive pas toujours. Une foule de personnes, tant en France qu'en Allemagne, en Angleterre et en Amérique, ont dépensé beaucoup d'ar-

gent pour la construction de ces moteurs et sont arrivés à cette conclusion : que la force électro-motrice n'est susceptible d'application que dans des limites très-restreintes, qui ne doivent pas dépasser celles de l'horlogerie.

Tous les effets du fluide électrique, susceptibles d'imprimer à un corps une direction ou de développer une force attractive ou répulsive, peuvent être combinés mécaniquement, de manière à former un moteur électrique. Ainsi, les effets des courants électriques les uns sur les autres, l'action des courants sur les aimants, et réciproquement l'action des aimants sur les courants, l'action des aimants temporaires sur les corps magnétiques non aimantés peuvent, si l'on augmente suffisamment la force électrique et la grosseur des pièces qui en subissent l'action, donner lieu à des moteurs électro-dynamiques. On conçoit, en effet, que possédant, par l'intermédiaire de l'électricité, une force susceptible d'être détruite dans un instant donné, puisqu'il ne s'agit pour cela que d'interrompre le courant, il suffit d'un mécanisme bien simple pour traduire l'impulsion à laquelle elle donne lieu en mouvement circulaire continu.

Si la force électro-motrice était, comme la vapeur, susceptible de croître avec les éléments qui la font naître, si l'action dynamique pouvait s'exercer à une certaine distance avec la même intensité, si le fluide électrique ne réagissait pas par induction de manière à exercer un effet contraire à celui qu'il est appelé à produire, si le courant se transmettait dans toute son énergie pendant un temps très-court, si enfin la cessation de l'action magnétique correspondait exactement à l'interruption du courant, le problème des électro-moteurs serait depuis longtemps résolu, car jamais combinaisons plus ingénieuses n'ont été imaginées. Mais il est bien loin d'en être ainsi, et en outre de ces obstacles sont venus s'en ajouter d'autres qui tiennent à la nature même des corps : d'abord leur défaut de *rigidité*, qui est la consé-

quence naturelle de leur élasticité; en second lieu l'oxydation de l'interrupteur par l'étincelle électrique, qui détériore ce mécanisme et empêche la parfaite continuité des communications métalliques, enfin la stabilité de l'effet à distance pour un puissant aimant comme pour un faible. Tous ces obstacles, qui s'opposent à la marche des électromoteurs de grande dimension, n'existent pas pour les petits, car les éléments dynamiques restent les mêmes; ce qui peut être une grande course pour un petit moteur en est une très-faible pour un grand; ce défaut de rigidité, qui détruit le bénéfice des effets à petite distance, ne se fait pas sentir pour de faibles forces et de petits bras de levier; enfin, l'étincelle d'un faible courant ne détruit aucunement les communications métalliques; c'est pourquoi les électromoteurs de petit modèle ont toujours réussi et que les grands ont toujours été pour les inventeurs un sujet de déception.

La conclusion de tout ceci, c'est qu'on devra d'ici à longtemps, si ce n'est pour toujours, se tenir en garde contre les annonces pompeuses de certains constructeurs et de certains journaux, qui viennent affirmer qu'on peut établir des moteurs électriques de la force de plusieurs chevaux. Ce qui est certain, c'est que *jusqu'à présent aucun moteur électrique n'a atteint la force d'un cheval*, et ceux qui donnent le problème comme résolu nous rappellent ce chasseur de la fable qui vend la peau de l'ours avant de l'avoir tué.

Bien que les causes que nous avons citées précédemment, réagissent d'une manière fâcheuse sur le développement de la force électro-motrice, elles ne sont pourtant pas toutes insurmontables. Ainsi, par des moyens que nous allons étudier à l'instant, on est parvenu à éviter les effets contraires des courants d'induction et l'action détériorante de l'étincelle. D'un autre côté, on a cherché à tourner la

difficulté de la diminution rapide de la force électro-magnétique avec la distance par des réactions au contact. Enfin, on a cherché à anéantir les effets du magnétisme rémanent des électro-aimants. Malgré tous ces perfectionnements, le problème n'est pas encore résolu.

Nous avons déjà vu pages 245 et 246, 1er vol., comment l'étincelle des interrupteurs pouvait être affaiblie par la division des points de contact avec les frotteurs, ou par l'interposition dans le circuit d'un condensateur de M. Fizeau; nous avons même décrit, page 262, 1er vol., un système de commutateur dans lequel le courant ne se trouvait jamais interrompu. Quoique ces systèmes présentent des avantages, ils ne sont pas toujours d'une application facile. M. Masson en a proposé un autre, qui est d'une grande simplicité, et qui, selon lui, est parfaitement efficace. Ce système de commutateur consiste à déterminer les interruptions du courant à travers les électro-aimants, par une fermeture plus directe du circuit dans lequel ils sont interposés. Ainsi, en admettant que le circuit A B C D, fig. 1, pl. III, représente celui dans lequel sont interposés les électro-aimants du moteur, lequel circuit sera toujours fermé, il suffira, pour interrompre le courant qui le traversera, d'établir, au moyen d'un excentrique F ou de tout autre système d'interrupteur, une dérivation de E en G. Le courant, en effet, passera alors de préférence par cette dérivation, conformément aux lois des courants dérivés, pourvu, toutefois, que les points E et G soient suffisamment éloignés de la pile, et que la partie E B C G du circuit présente une très-grande résistance par rapport à E G. Il résulte de cette disposition que l'étincelle de l'interrupteur sera notablement affaiblie, puisqu'elle ne sera plus amplifiée par la présence du courant induit. Ce moyen, comme on le voit, est le complément du système interrupteur que j'avais imaginé il y a quelques années, et que j'ai

décrit page 259, 1er vol. ; du reste, pour être tout à fait juste, je dois dire que M. Dering, dans un brevet pris en 1855, décrit avec détail ce système d'interrupteur.

Bien que, par le moyen que nous venons d'indiquer, le courant passe en presque totalité par la dérivation EG, une petite partie se dérive néanmoins à travers le circuit EBCG, et contribue à renforcer le magnétisme rémanent, si nuisible dans les réactions mécaniques des électro-aimants. Après y avoir quelque temps réfléchi, j'ai pensé que si on pouvait profiter de la fermeture du circuit en EG pour envoyer en ce moment un courant dérivé de sens contraire à travers le circuit EBCG, non-seulement on détruirait l'effet de la portion dérivée du courant qui le sillonne, mais encore le magnétisme rémanent dans les électro-aimants eux-mêmes. Voici comment j'ai disposé dans ce but l'interrupteur précédent :

Au lieu d'un frotteur F, j'en emploie deux F et I, fig. 2, pl. III, et, en face de ces frotteurs, je place deux pièces de cuivre EJ, GK mises en rapport direct avec les pôles de la pile et le circuit EBCG. Enfin, des points A et D, je fais partir des bifurcations qui unissent le ressort I au pôle A, et le ressort F au pôle D. Avec cette disposition, quand le double excentrique X fait toucher les ressorts I et F contre les pièces EJ et GK, le courant se dérive à travers quatre circuits : 1° l'un, qui est complété par l'équerre EJ et le ressort F; 2° un autre qui est complété par le ressort I et l'équerre GK; 3° un autre, qui comprend la dérivation EBCG avec les deux équerres EJ, GK; 4° enfin, un autre qui correspond à cette même dérivation avec les ressorts I et E et les fils qui les réunissent à la pile. Pour peu qu'on suive la marche de ces courants indiqués par des flèches sur la figure, on pourra s'assurer que deux dérivations égales et de sens contraire sillonnent alors le circuit EBCG, c'est-à-dire les électro-aimants, qui demeurent alors forcément inertes.

Le problème pourrait être encore résolu d'une manière plus simple en réunissant par un fil les deux ressorts F et I. En effet, au moment du contact de ces ressorts avec les équerres EJ et GK, le courant se divise de trois côtés différents : 1° par le fil *fi* et les deux ressorts pour aboutir directement à la pile; 2° par le circuit EBCG, en passant par les équerres EJ et GK ; 3° par le même circuit EBCG, mais en passant par les ressorts F et I. Ces deux dernières dérivations étant de sens contraire dans le circuit EBCG s'annulent.

Historique des moteurs électro-magnétiques. — A qui revient l'honneur d'avoir appliqué pour la première fois l'électricité à la marche d'un moteur mécanique? C'est une question qu'il est bien difficile de décider d'une manière parfaitement certaine. Depuis les tourniquets électriques construits en vue de rendre manifestes les réactions du fluide électrique, soit par l'effet de son écoulement à travers des pointes comme les tourniquets des machines électriques, soit par l'effet d'attractions successives comme le tourniquet à piles sèches de Zamboni, bien des savants ont dû chercher à diriger dans le même but les réactions dynamiques des courants, surtout lorsqu'ils purent constater la force considérable d'aimantation que pouvaient développer ces sortes de réactions. Suivant M. Figuier, qui a publié une notice intéressante sur les électro-moteurs, ce serait l'abbé Salvator dal Negro, savant ecclésiastique de Padoue, qui aurait fait en 1831 la première tentative pour utiliser la force électro-magnétique comme force motrice. Suivant plusieurs savants allemands, M. Jedlick, l'un des auteurs de la pile dont nous avons parlé dans notre premier volume, aurait construit, dès l'année 1829, un électro-moteur des plus perfectionnés qui aurait une analogie complète avec celui de M. Froment, que nous avons représenté fig. 4, pl. III. Enfin, à entendre les Anglais et les Américains, les

électro-moteurs auraient pris naissance chez eux. Comme on le voit, la question est bien difficile à éclaircir; du reste, elle n'a qu'un intérêt bien secondaire, puisque cette application de l'électricité est loin d'avoir réalisé encore ce qu'on en avait attendu.

Quoi qu'il en soit, le premier travail sérieux qui ait été fait sur l'application de l'électro-magnétisme au mouvement des machines remonte à l'année 1834, et c'est ce travail, entrepris par M. Jacobi, savant professeur de Saint-Pétersbourg, qui provoqua de la part du gouvernement russe le premier essai en grand des électro-moteurs.

Cet essai, qui coûta plus de 60,000 fr., fut fait à Saint-Pétersbourg en 1839. On l'appliqua à mettre en marche une petite barque chargée de 12 personnes, et munie à cet effet de roues à palettes. On put, il est vrai, naviguer pendant plusieurs heures sur les eaux de la Néva; mais la force développée, bien que provenant d'une pile de 128 grands éléments de Grove, ne put jamais dépasser les trois quarts d'un cheval-vapeur. Un si faible effet mécanique déterminé par un courant si énergique découragea complétement l'inventeur, qui depuis lors a toujours considéré cette application de l'électricité comme impraticable pour les travaux industriels.

L'appareil de M. Jacobi se composait de deux disques métalliques placés verticalement l'un au-dessus de l'autre, portés sur un axe commun et munis tous les deux de barreaux de fer doux disposés sur leur pourtour. Ces barreaux de fer, placés en regard et presque en contact l'un avec l'autre par leur extrémité libre, étaient disposés de telle sorte que les extrémités libres des barreaux d'un même disque constituaient alternativement des pôles magnétiques de sens contraire. L'un de ces disques était fixe, et l'autre mobile autour de l'axe. Il résultait de cette disposition que, par suite de l'attraction électro-magnétique qui s'exerçait

entre les pôles opposés des électro-aimants, lorsque les barreaux de fer du disque mobile occupaient le milieu des intervalles qui séparaient les barreaux de fer du disque fixe, les attractions et les répulsions mutuelles qui s'établissaient entre les pôles opposés de tous ces aimants faisaient tourner le disque mobile. L'axe du disque, ainsi mis en mouvement, pouvait donc servir à mettre en action un arbre moteur.

En 1840, MM. Patterson présentèrent à l'Académie des sciences de Paris une machine qui devait être consacrée, au dire des inventeurs, à l'impression d'un journal hebdomadaire. C'était, comme le fait judicieusement observer M. Figuier, promettre beaucoup à une époque où les applications de l'électro-magnétisme étaient encore enveloppées de tant d'obscurité et d'incertitude. Ce moteur appartenait à la classe de ceux que nous avons désignés sous le nom d'électro-moteurs à mouvement direct. Bien que cette machine n'ait pas fourni les avantages que leurs inventeurs en espéraient, un appareil du même genre, expérimenté à la même époque en Amérique par M. Taylor, put être utilisé à mettre en marche un petit tour de bois.

Si l'on devait s'en rapporter aux assertions des journaux et aux illusions des inventeurs qui, dans leur amour de leur conception, croient voir ce qui n'est pas, on pourrait penser que le problème des électro-moteurs aurait été plus avancé dans sa solution, dès l'année 1842, qu'il ne l'est maintenant; car le *Civil Engineer's Journal*, du mois d'octobre 1842, prétend que M. Davidson a pu mettre en mouvement, sur le chemin de fer d'Edimbourg à Glascow, une locomotive traînant huit tonnes avec une vitesse de deux lieues à l'heure. Mais nous savons le cas qu'il faut faire de ces sortes de réclames, si bien connues maintenant sous le nom de *canards*, et je m'étonne que des personnes sérieuses aient pu y ajouter foi. Nous en dirons autant de cet

autre *canard*, encore mieux nourri parce qu'il vient d'Amérique, que l'on a pu lire, en 1850, dans le *National Intelligencer* des États-Unis, et qui fait de la machine électro-motrice de M. Page une machine *de la force de cinq chevaux*, marchant sous l'influence d'une pile contenue *dans un espace d'un mètre cube* et fournissant au piston *une course de deux pieds* dans toute l'étendue de laquelle agissait *une force équivalente à six cents livres*. Ce moteur était fondé sur l'attraction qu'exercent les uns sur les autres les solénoïdes. Or, toute personne qui a pu expérimenter ces sortes de réactions pourra juger par *ce chiffre de six cents livres!* de la valeur des allégations du journal américain.

Parmi tous les physiciens et les constructeurs qui se sont adonnés à la construction des électro-moteurs, M. Froment doit être placé en première ligne, tant par la manière ingénieuse dont il les a combinés que par la manière dont marchent tous ses appareils. Cet habile constructeur a utilisé accessoirement plusieurs d'entre eux dans ses ateliers; toutefois, il est loin de prétendre que ces sortes de moteurs puissent être appliqués avantageusement dans l'industrie, comme plusieurs personnes ont voulu le lui faire dire. En cela, je dois le dire, M. Froment est d'une franchise qui devrait être imitée non-seulement par tous les inventeurs, mais encore par ceux qui écrivent sur les questions scientifiques, car c'est en débarrassant les applications des sciences de tout charlatanisme qu'elles pourront se populariser et se répandre. Avis à ceux qui battent la grosse caisse dans les journaux.

Dans ces dernières années, le nombre des inventeurs d'électro-moteurs s'est tellement multiplié, qu'il devient impossible pour nous de faire une description complète de tous leurs systèmes. On pourra en juger par la liste suivante qui indique les noms des inventeurs brevetés depuis

quatre ans, et chaque brevet mentionne plusieurs systèmes :

1853.	1854.	1855.
Jackson.	Marré Davy.	Gilbée.
Beltzung.	Cornet.	Camparet.
Kingston.	Rousselot.	Dering.
Roux.	Lautier.	Fayot.
Larmenjat.	Thevenin.	Grenet et de Fonvielle.
Carosio.	Rousseau.	Ringard.
Huyn-Gentilhomme et Demignieux.		Abadie.
		Roussilhe.
Fabre de Lagrange.		
Delaurier.		
Dubos.		

Du reste, tous ces systèmes se rapportent plus ou moins à quelques types que nous allons passer successivement en revue, et que l'on peut classer dans cinq catégories :

1° Les électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des courants tant magnétiques qu'électriques;

2° Les électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des aimants temporaires et des aimants persistants;

3° Les électro-moteurs fondés sur l'attraction du fer par les électro-aimants;

4° Les électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des électro-aimants;

5° Les électro-moteurs dans lesquels la force de la pesanteur intervient comme source de puissance.

ÉLECTRO-MOTEURS FONDÉS SUR LES RÉACTIONS RÉCIPROQUES DES COURANTS TANT MAGNÉTIQUES QU'ÉLECTRIQUES.

La roue de Barlow, l'appareil de Faraday pour la rotation des aimants sous l'influence de courants dirigés dans un sens convenable, l'appareil à piles sèches de Zamboni, et

une foule d'autres instruments de ce genre sont, dans l'acception véritable du mot, autant d'électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des courants, tant magnétiques qu'électriques. Cependant, comme ils ne sont pas capables de produire une force appréciable, et que les combinaisons mécaniques n'entrent en rien dans leur construction, nous les distinguerons essentiellement des électro-moteurs dont nous allons parler.

Électro-moteurs à hélices oscillantes de M. Th. Du Moncel. — L'un de ces appareils, construit par M. Mirand, a fonctionné en 1851 sur le bureau de l'Académie des sciences. Il est fondé sur l'attraction exercée par les solénoïdes sur le fer doux.

Qu'on se figure deux bobines recouvertes de gros fil et reliées entre elles de manière à constituer un seul et même cylindre, dans lequel puisse circuler librement un cylindre de fer; on comprendra que le courant se trouvant distribué à propos et alternativement dans l'une et l'autre de ces bobines, le cylindre mobile de fer se trouvera tour à tour attiré, en vertu de la réaction que nous avons signalée page 232, 1er vol., et entrera dans un mouvement oscillatoire que l'on pourra rendre assez étendu par l'allongement ou la succession des bobines. Ce cylindre formera donc comme le piston d'une machine à vapeur, dont il suffira d'articuler la tige à une manivelle pour transformer son mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire continu.

Pour mettre le système moteur en rapport avec cette transformation de mouvement, la mécanique fournit plusieurs moyens : celui que j'ai préféré est la suspension équilibrée du système sur deux pointes. Alors les bobines peuvent osciller et suivre la manivelle dans ses écarts en dehors de leur axe, ce qui donne à l'instrument l'apparence d'une machine à vapeur à cylindre oscillant.

L'axe de la manivelle porte un volant destiné à entretenir le mouvement, et un mécanisme appelé *commutateur*,

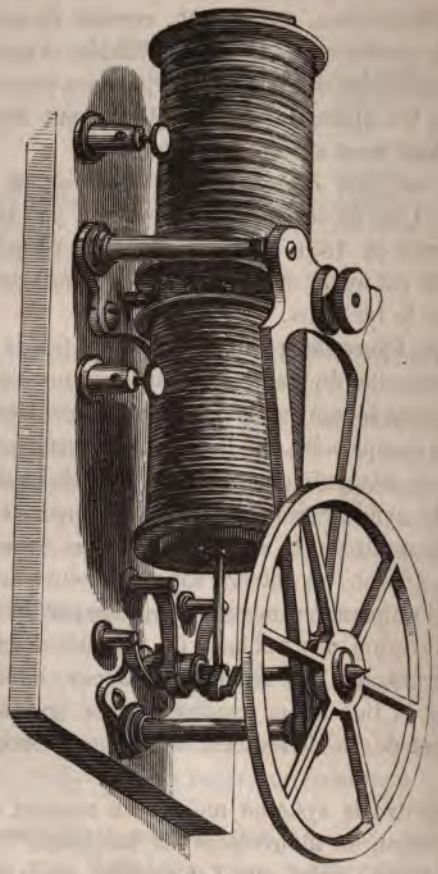


Fig. 3.

composé de deux excentriques isolés métalliquement l'un de l'autre, pour le renvoi alternatif du courant dans les bobines. A cet effet, ces excentriques, mis en rapport

avec l'un des pôles de la pile par l'intermédiaire des fils des bobines, sont placés en sens inverse l'un de l'autre; mais un frotteur d'argent assez large pour s'appliquer sur les deux à la fois, en les supposant tournés du même côté, est en rapport direct avec l'autre pôle de la pile. Or, si ce mécanisme est tellement disposé que ce frotteur commence à toucher l'excentrique en rapport avec le fil de la bobine inférieure, quand la manivelle est au point le plus élevé de sa course, il arrive que le courant réagit sur le cylindre piston et l'attire jusqu'à ce que la manivelle ait accompli une demi-révolution; mais en ce moment le frotteur touche l'autre excentrique qui reporte le courant dans la bobine supérieure, et le piston remonte pour redescendre après, et ainsi de suite.

Pour favoriser cette réaction mécanique des courants sur le fer, j'ai adapté aux deux extrémités de l'ensemble des

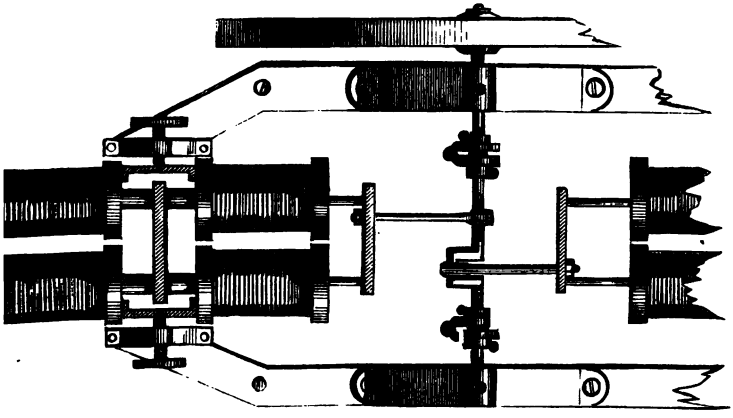


Fig. 4.

deux bobines deux rondelles de fer doux qui réagissent magnétiquement sur le fer piston, devenu aimant sous l'in-

fluence du courant; l'action est alors beaucoup plus vive, car les deux effets sont concurrents.

Dans un autre système à double effet et à quatre pistons, j'ai encore tiré un meilleur parti de ces dernières réactions magnétiques, en coupant en deux les pistons et en réunissant les bouts deux à deux par une rondelle épaisse de cuivre; alors chaque bobine, au lieu de n'avoir qu'une rondelle de fer doux, en a deux. Il en résulte que les cylindres pistons, non-seulement ne sont plus gênés dans leur mouvement par leur réaction magnétique, lorsqu'ils vont d'une bobine à l'autre, mais qu'ils peuvent encore réagir par leurs deux pôles à la fois sur les rondelles de la bobine vers laquelle ils marchent.

Électro-moteur à une seule bobine de M. Siemens. — Ce moteur, d'ailleurs d'une très-faible puissance, est fondé sur l'attraction de deux courants électriques marchant dans le même sens, et leur répulsion quand ils marchent en sens contraire. Qu'on suppose, dans le moteur décrit précédemment, les deux bobines réunies en une seule, et le cylindre de fer remplacé par un tube de cuivre dans lequel aura été introduite une hélice métallique suffisamment isolée (Voir fig. 26, pl. II, 1er vol.), et l'on aura une idée assez exacte de ce genre de moteur, car le même commutateur peut être employé, sauf qu'au lieu d'un ressort appuyé sur les deux excentriques, il y en a quatre qui rencontrent chacun d'eux à chaque demi-révolution. Alors, les extrémités de l'hélice intérieure aboutissent aux boutons en rapport avec ces quatre ressorts frotteurs, et l'hélice extérieure communique directement, ainsi que les deux excentriques, aux pôles de la pile. Ce mécanisme constitue un commutateur à renversement de pôles.

Moteur galvanométrique de M. Dering. — Pour éviter les effets contraires du magnétisme rémanent, M. Dering a voulu former un moteur de la réunion d'un nombre consi-

dérable de puissants galvanomètres, dont les barreaux aimantés, réagissant par séries sur un même arbre, devaient produire un mouvement de rotation continu. Reste à savoir si ce système peut fournir une force appréciable, ce qui me paraît fort douteux. Du reste, les réactions dynamiques des courants sont tellement faibles que c'est tout au plus si les moteurs dont nous venons de parler peuvent entretenir leur mouvement. La machine de M. Page appartient à cette catégorie de moteurs; c'est assez dire que les faits rapportés par les journaux américains sont complétement faux.

MOTEURS FONDÉS SUR LES RÉACTIONS RÉCIPROQUES DES AIMANTS TEMPORAIRES ET DES AIMANTS PERSISTANTS.

L'idée d'économiser la force électrique par les réactions des aimants temporaires sur les aimants persistants, dont le courant magnétique est sans cesse en activité, n'est pas nouvelle, bien que plusieurs personnes croient trouver dans cette combinaison une mine inexploitée. L'électro-moteur de Richtie, qui est de date très-ancienne, est précisément fondé sur ce principe.

Dans cet instrument, l'aimant persistant est dissimulé; il se trouve fixé dans le socle ou la planchette qui soutient le mécanisme. Au-dessus des pôles de cet aimant est placé un électro-aimant qui, en raison de sa monture sur un pivot, peut tourner sur lui-même. Un commutateur à renversement des pôles est fixé sur la broche qui sert de pivot, et se trouve tellement disposé que, quand les pôles de l'électro-aimant s'approchent des pôles de l'aimant persistant, ils se trouvent de nom contraire à ceux-ci, et que, quand ils doivent s'en éloigner, ils sont de même nom. Dans le premier cas, il y aura donc une attraction échangée entre les deux aimants; puis une répulsion succèdera, et comme

l'une fait suite à l'autre dans le même sens, il en résultera un mouvement de rotation continu.

On conçoit qu'en remplaçant l'aimant persistant par un électro-aimant, on devra obtenir une action plus forte.

Électro-moteur de M. Weare. — Nous avons déjà décrit les horloges électriques de M. Weare. Celle dont le pendule oscille entre les pôles d'un aimant fixe est précisément le principe de l'électro-moteur en question. Nous supposerons seulement qu'au lieu d'un aimant il y en ait deux, et qu'entre ces deux aimants oscille à l'extrémité d'une tige verticale un double système d'*électro-aimants droits.*

Avec cette disposition, il est facile de comprendre qu'une bielle, articulée à la tige oscillante et à la manivelle d'un volant, pourra transformer en mouvement circulaire continu le mouvement oscillatoire de cette espèce de balancier. De plus, l'axe du volant pourra porter lui-même le commutateur qui doit changer alternativement les pôles des aimants temporaires, pour que ceux-ci étant de nom contraire, puis de même nom que les pôles des aimants fixes vers lesquels ils se dirigent, il y ait une répulsion faisant suite à une attraction.

On a fait depuis beaucoup d'autres systèmes analogues, mais ils pèchent tous par leur base : d'abord par la faiblesse de l'action magnétique des aimants persistants, et, en second lieu, parce que les pôles des aimants temporaires droits, en devenant de même nom que ceux des aimants fixes lorsqu'ils sont rapprochés, réagissent statiquement sur eux et les désaimantent. Ce serait donc une erreur de chercher la solution du problème des électro-moteurs dans cette disposition électro-magnétique.

MOTEURS FONDÉS SUR L'ATTRACTION DU FER PAR LES ÉLECTRO-AIMANTS.

Cette catégorie de moteurs est celle qui a fourni le plus de modèles et les appareils les plus ingénieux. On peut diviser ce genre de moteurs en trois classes : 1° les moteurs à mouvement alternatif ; 2° les moteurs à mouvement de rotation directe ; 3° les moteurs à mouvements combinés.

PREMIÈRE CLASSE.

Moteur de M. Froment, à simple effet. — Une armature de fer étant placée à portée d'un électro-aimant se trouve attirée aussitôt que le courant passe dans cet aimant ; mais si l'on fait en sorte que cette armature, en s'abaissant, réagisse sur la manivelle d'un volant, et que l'axe de ce volant porte un commutateur qui interrompe le courant au moment où elle sera abaissée, il en résultera que le volant, en raison de sa vitesse acquise, relèvera l'armature, et celle-ci pourra se retrouver bientôt en position d'être de nouveau attirée. Mais comme l'attraction des armatures ne peut avoir d'effet profitable qu'à une petite distance, et comme, d'un autre côté, la transformation du mouvement exige une bielle suffisamment développée, force est donc d'amplifier l'écart des pièces qui subissent l'attraction par des systèmes de leviers que l'on peut combiner de mille façons différentes [1]. Dans l'appareil de M. Froment, la partie libre de l'armature est articulée à une tige verticale. Cette tige appuie sur un petit levier soudé sur un axe horizontal qui porte lui-même un autre levier cinq fois plus grand. C'est à

1. Cette amplification de l'écart par les leviers diminue, à la vérité, la force, mais cette diminution est bien plus que compensée par l'accroissement de la force électro-magnétique.

ce levier, retourné en dedans de l'appareil, que se trouve articulée la bielle du volant dont l'axe passe au-dessus de la ligne équatoriale de l'électro-aimant.

En disposant au-dessus de l'armature de cet appareil un autre électro-aimant, on pourrait obtenir un moteur alternatif à double effet qui aurait plus d'énergie.

Il va sans dire que plusieurs systèmes d'électro-aimants

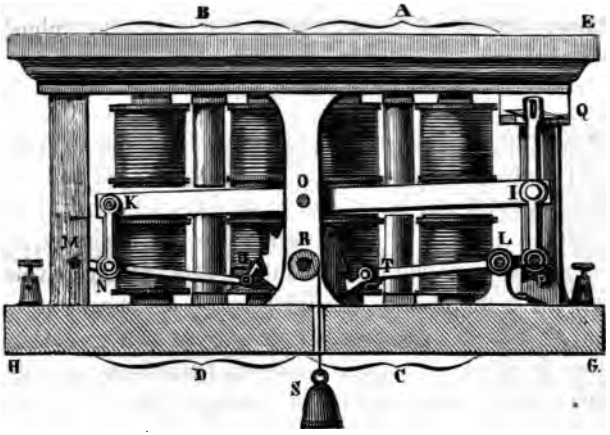


Fig. 5.

peuvent être ajoutés les uns à côté des autres, et même combinés, non-seulement de manière à faire un moteur à double effet, comme le précédent, mais même un moteur à quadruple effet. Dans ce cas, l'armature constitue un véritable balancier, et la roue à rochet peut être employée, si l'on veut, pour la transformation du mouvement.

Moteur à double effet et à deux manivelles. — Cet instrument, par sa disposition, a un peu d'analogie avec les machines des bateaux à vapeur. Comme dans ceux-ci, en effet, les deux manivelles de l'axe du volant sont à mouvement contrarié, et les électro-aimants qui agissent directement

sur elles, par l'intermédiaire d'une longue tige articulée à leur armature, sont placés parallèlement entre eux et fonctionnent alternativement. Le commutateur est pris sur l'axe du volant.

Moteur de M. Roux. — Le moteur de grande dimension de M. Roux, qui a figuré à l'Exposition universelle de 1855, présente une disposition très-avantageuse en ce qui concerne le point d'application de la force des aimants artificiels, et l'heureuse transformation de mouvement qui en est la conséquence. Ce moteur n'a que deux électro-aimants, mais ces électro-aimants sont très-gros et ont une forme particulière que nous avons représentée fig. 21, pl. II, 1er vol. A portée de ces organes électriques se trouvent suspendues à plat, par deux tiges articulées A B, C D, fig. 6, pl. III, deux grandes plaques de fer doux E F, E′ F′, auxquelles sont fixés deux longs leviers F G, F′ G′ en rapport avec une double manivelle G, G′ adaptée à un même axe vertical H I. C'est sur cet axe que se trouvent l'interrupteur et le volant. Quand le moteur est dans l'inaction, l'une des plaques se trouve soulevée d'environ 2 centimètres au-dessus de l'électro-aimant correspondant, tandis que l'autre plaque est complétement abaissée. Aussitôt que le courant passe dans l'appareil, la plaque soulevée se trouve attirée; mais les tiges qui la soutiennent décrivant pendant ce trajet un arc de cercle, cette plaque se trouve, tout en accomplissant son mouvement d'abaissement, repoussée de côté. Or, c'est cette composante de la force attractive qui est utilisée pour agir sur la manivelle de l'arbre moteur. Quand la fonction mécanique de cette plaque de fer est terminée, le courant se trouve dirigé dans le second électro-aimant, qui jusque-là avait été inerte, et celui-ci, en opérant les mêmes effets que le premier, continue le mouvement.

Comme on peut en juger par cette simple description, ce moteur n'est autre chose qu'un double système d'électro-

aimants dont les armatures sont munies chacune du répartiteur électrique de M. Froment, que nous avons décrit page 322, 1er volume. C'est une combinaison d'autant plus heureuse que l'amplification de la course des bielles F G, F′ G′ ne s'opère qu'à l'avantage de la régularité de l'action électrique. Cette amplification est d'ailleurs très-considérable, puisqu'elle est, eu égard à la distance d'attraction des armatures, dans le rapport des arcs décrits par les tiges D C, A B à leur sinus. Ce moteur est celui qui a fourni les meilleurs résultats lors des expériences qui ont été faites à l'Exposition universelle, pour constater la force comparative des divers moteurs exposés.

Moteur de MM. Fabre et Kunemann. — MM. Fabre et Kunemann ont aussi exposé, en 1855, un moteur d'assez grande dimension, auquel ils avaient appliqué leurs électro-aimants tubulaires.

Ces électro-aimants, au nombre de deux, étaient adaptés à l'extrémité de deux tiges verticales reliées par l'intermédiaire de deux bielles aux manivelles de l'arbre moteur; ils avaient leurs pôles en bas et étaient articulés par deux goujons sur deux fortes plaques de fer doux qui leur servaient d'armature. Ces plaques étaient maintenues fixes à la partie inférieure de la machine, de sorte que c'étaient les électro-aimants eux-mêmes qui constituaient les pièces électro-magnétiques mobiles. A l'état de repos, un des cylindres électro-aimants devait se trouver dans une position verticale, tandis que l'autre devait être incliné, en faisant charnière sur ses deux goujons. Mais quand le courant venait à animer la machine, et, par conséquent, à circuler à travers ce dernier électro-aimant, la pièce fixe de fer tendait à rappeler celui-ci dans la position verticale, et de ce mouvement résultait une impulsion qui réagissait sur l'arbre moteur. En même temps, le second électro-aimant se trouvait incliné, et le commutateur, en transportant alors

le courant sur ce second électro-aimant, provoquait une nouvelle impulsion qui continuait le mouvement de la machine. La disposition de ce système d'électro-moteur n'est pas très-favorable au développement de la force produite.

Électro-moteurs de M. Dezelu. — Les électro-moteurs exposés par M. Dezelu en 1855 n'ont de particulier que la disposition des armatures de leurs électro-aimants. Cette disposition est représentée fig. 29, 30 et 31, pl. II, 1er vol.; elle offre l'avantage de faire réagir par ses deux pôles un électro-aimant droit sur une même armature ou sur deux armatures différentes. En effet, supposons que la tige commune aux deux armatures en forme de T, fig. 19, traverse par le milieu l'électro-aimant et soit articulée à une bielle réagissant sur la manivelle d'un arbre à volant; on comprendra qu'un commutateur pourra distribuer le courant à travers l'électro-aimant, de manière à rendre celui-ci actif au moment de l'approche de l'une ou l'autre des deux armatures, et comme ces armatures sont recourbées du côté des deux pôles de l'électro-aimant droit, elles peuvent subir doublement la réaction magnétique, comme si l'électro-aimant avait deux branches. Ainsi, quoique cet électro-moteur ne possède qu'un seul électro-aimant droit, il subit les mêmes effets attractifs que si deux doubles électro-aimants réagissaient sur deux armatures droites.

Dans la disposition représentée fig. 30 et 31, le même effet est produit, mais avec une seule armature droite. Pour en comprendre le jeu, il faut savoir que le canon de forme prismatique de la bobine sur laquelle est enroulée l'hélice magnétisante est en fer doux, et que l'armature se trouve soutenue à l'intérieur de ce canon par une tige qui traverse de part en part l'électro-aimant. Quand le courant traverse l'hélice magnétisante, deux pôles contraires sont créés aux deux extrémités du canon de fer, et si l'armature est alors plus voisine de la paroi gauche de ce canon que de la paroi

droite, elle se trouve entraînée, sous l'influence de ces deux pôles, vers la gauche avec une force d'autant plus grande que la distance qui la sépare de la paroi vers laquelle elle marche est moindre. Quand, au contraire, le courant circule dans l'électro-aimant au moment où l'armature se rapproche de la paroi droite, celle-ci se trouve attirée de ce côté. Or, un commutateur établi sur l'arbre de rotation du moteur peut facilement distribuer le courant de manière à réaliser ce double effet pour chaque double oscillation de la tige soutenant cette armature.

Ces systèmes d'électro-moteurs sont plutôt ingénieux qu'avantageux, car les attractions qui se manifestent sont toujours différentielles.

DEUXIÈME CLASSE.

Moteurs à mouvement direct. — M. Froment a construit une foule de modèles de ce genre de moteurs; d'autres l'ont imité plus ou moins; mais, quelle que soit la disposition mécanique qu'on leur donne, ils se composent toujours d'une roue armée de palettes de fer plus ou moins larges, plus ou moins espacées, à portée desquelles se trouvent des électro-aimants simples ou à pôles multiples. Ces électro-aimants, en nombre plus ou moins grand, se trouvent disposés tangentiellement à la roue, et reçoivent le courant, soit successivement, et chacun en particulier, soit plusieurs à la fois et par séries. La position des palettes sur la roue et leur écart des électro-aimants sont intimement liés à cette distribution. Mais, dans tous les cas, il faut que les palettes qui doivent être attirées ne soient guère plus distantes d'un centimètre des électro-aimants qui doivent agir sur elles, et que le courant soit interrompu au moment où ces palettes passent devant ces électro-aimants. Le commutateur est placé sur l'axe de la roue, il peut être plus ou moins compliqué. En général, il consiste dans des roues

dentées, en correspondance avec chaque série d'électro-aimants qui doivent agir en même temps, et le nombre de dents de ces roues est précisément le même que celui des plaques; il faut seulement que chacune de ces dents soit, à l'égard de l'intervalle qui les sépare, dans le rapport de la distance d'attraction des palettes de fer à l'espace dont elles sont écartées l'une de l'autre, car les ressorts frotteurs, qui appuient sur ces roues n'établissent le courant que quand ils touchent la dent. Nous avons décrit page 258, 1er vol., des commutateurs de ce genre. On comprend d'après cela, que les dents des différentes roues commutateurs ou les ressorts frotteurs ne doivent pas se correspondre, et que, pour que les attractions des différents systèmes attractifs puissent se succéder, il faut qu'elles soient disposées de manière que, quand l'un des frotteurs abandonne une dent, le suivant en reprenne une autre sur la roue qui lui correspond. Par la même raison, les intervalles des électro-aimants doivent être calculés de telle sorte que quand une des palettes de la roue motrice passe devant le système attractif qui vient d'agir, le système suivant soit à portée d'attraction de la palette qui se présente en ce moment. La fig. 3, pl. III, représente un modèle d'électro-moteur de ce genre construit par M. Froment.

Dans un grand électro-moteur que j'ai fait construire dans ce système, j'ai rendu la course attractive des palettes beaucoup plus considérable qu'on ne le fait ordinairement, par une disposition particulière dont voici le principe. Si vous présentez à un électro-aimant fixe une armature plate de manière que l'attraction se fasse dans le sens de la ligne équatoriale de l'aimant, et si cette armature est tellement disposée qu'elle ne puisse céder à l'attraction normale, il arrivera que celle-ci sera entraînée avec force jusqu'à ce que sa ligne moyenne coïncide avec la ligne axiale des pôles de l'aimant. Si donc les pôles d'un électro-aimant et son

armature ont un diamètre considérable, cette dernière étant libre de se mouvoir dans le sens équatorial, pourra acquérir, par ce moyen, une course attractive très-étendue.

En conséquence de ce principe, au-lieu d'enrouler le fil de mes électro-aimants sur une bobine, je l'ai enroulé directement sur le fer, en ayant soin de souder à l'extrémité de chaque branche un rebord épais, également en fer. Or, ce rebord, tout en augmentant la surface de ses pôles, pouvait donner à l'aimant une action attractive, latérale et directe. De plus, comme cette action pouvait s'exercer sur la partie de l'armature posée de champ, elle devenait plus efficace. Avec cette disposition, j'ai obtenu quatorze centimètres de sphère d'attraction pour chaque électro-aimant de mon moteur. Par conséquent, au lieu d'interrompre le courant au moment où l'armature doit passer devant les pôles de l'aimant, je ne fais cette interruption qu'au moment où elle se trouve symétriquement placée par rapport à leurs bords. L'inconvénient de ce système est la flexion des supports des électro-aimants sous l'effet de l'attraction normale, ce qui nécessite un écart plus considérable entre les palettes et les électro-aimants.

Électro-moteur de M. Larmenjeat. — M. Larmenjeat a appliqué d'une manière très-intelligente à son électro-moteur le système d'électro-aimants circulaires à trois pôles, de M. Nicklès, que nous avons représenté fig. 28, pl. II, 2e vol. Dans cette machine les armatures et les électro-aimants sont mobiles. Les armatures M, M, M, fig. 5, pl. III, sont formées par six cylindres de fer doux qui peuvent tourner sur leur axe à l'aide des tourillons *t t*. Ces cylindres sont placés symétriquement autour des électro-aimants circulaires qui sont au nombre de trois et fixés les uns à la suite des autres sur un même axe de rotation A. Un seul de ces électro-aimants F est représenté sur la

figure. Ils sont, comme on le sait, composés chacun de trois disques de fer taillés sur leur circonférence de manière à présenter six points de contact en fer et six parties en cuivre, remplissant les intervalles jusqu'à une profondeur d'environ un centimètre. Ces parties de cuivre ont une étendue double des parties de fer, et la rondelle du milieu, conformément aux recherches de M. Nicklès, a une épaisseur double des rondelles extrêmes.

Les trois électro-aimants présentant ensemble une longueur d'environ un mètre, sont disposés, par rapport aux divisions de leurs disques, de telle manière que les surfaces de contact en fer de chacun d'eux ne soient pas sur une même ligne droite, afin que l'action magnétique, échangée entre les cylindres de fer doux et ces parties de fer qui représentent les pôles de ces électro-aimants circulaires, se manifeste en des points différents de l'arc correspondant aux parties de cuivre.

Le commutateur que nous avons représenté en K à gauche de la figure se compose d'une partie mobile avec l'axe, c'est la roue R, et d'une partie fixe, les cercles CC et C′C′. La roue R est formée de six parties métalliques. Le cercle C′C′ concentrique à CC qui porte les armatures soutient les galets r, r', r'', qui appuient continuellement sur la roue R pendant sa rotation.

Les galets r, r', r'' sont chacun en rapport avec un des électro-aimants circulaires et le courant est conduit aux plaques conductrices de la roue R par un frotteur P.

Pour bien régler la position des galets r, r', r'', par rapport aux parties conductrices de la roue R, un petit levier S a été adapté au cercle C′ C′, et ce levier, portant une vis de pression mobile dans une rainure pratiquée dans le cercle CC permet d'avancer ou de reculer plus ou moins le système des trois galets et même de le déplacer suffisamment pour changer complétement le sens de rotation

de la machine. Il devient donc facile avec ce système de commutateur de régler convenablement l'introduction du courant dans les trois électro-aimants, et de les faire réagir successivement.

Il sera maintenant facile de comprendre la marche de l'appareil : quand les armatures MM se trouveront à distance convenable pour l'attraction des parties de fer de l'électro-aimant E, le courant circulera à travers cet électro-aimant et les six attractions échangées entre ces parties de fer et les six armatures auront pour effet de faire tourner l'électro-aimant et par suite l'arbre A d'un tiers de l'arc correspondant à l'intervalle de séparation entre les parties de fer. Mais ce mouvement a reporté les parties de fer du second électro-aimant à distance convenable des armatures MM : d'où il résulte un nouveau mouvement qui en provoque de la même manière un troisième de la part du dernier électro-aimant. Alors revient le tour de l'électro-aimant E et les réactions précédentes se renouvellent indéfiniment tant que le courant circule à travers le commutateur K.

M. Larmenjeat aurait pu rendre fixes les armatures MM, mais en les faisant roulantes il n'a pas eu à craindre leur flexion et a pu réagir de plus près sur les disques des électro-aimants. Ce système est, comme on peut en juger, extrêmement simple, et a fourni de bons résultats, surtout sous le rapport de la vitesse de rotation produite.

Electro-moteur de M. Allen. — L'appareil de M. Allen est composé de seize électro-aimants, fixés chacun sur un cadre de fer, étagés les uns au-dessus des autres par rangées de quatre et ayant leurs pôles dirigés de bas en haut. Un arbre horizontal, muni d'un volant, et soudé suivant quatre directions différentes, est articulé avec quatre tiges de fer qui passent chacune par le milieu de quatre électro-aimants. Les tiges superposées portent quatre rondelles de

fer doux qui peuvent glisser à frottement dans le sens de la longueur; elles sont retenues, de distance en distance, par quatre saillies de cuivre placées au-dessous. Chacune de ces rondelles est successivement attirée par les électro-aimants qui leur sont opposés et qui viennent s'appliquer à leur surface; en cet instant le courant cesse dans cet électro-aimant pour passer dans l'électro-aimant placé immédiatement au-dessous. La rondelle qui correspond à cet électro-aimant est attirée, à son tour, et fait ainsi avancer la tige d'une certaine quantité. Le courant passant de cette manière d'un électro-aimant à l'autre, le mouvement se continuera à chaque révolution de l'arbre, car les tiges qui ont été abaissées seront soulevées, et, avec elles, les rondelles qu'elles supportent et qui seront prêtes de nouveau à être attirées.

Electro-moteur de M. Pulver-Macher. — M. Pulver-Macher a aussi combiné un système de moteur à mouvement de rotation directe dans lequel il a employé les plaques électro-aimants, que nous avons décrites page 211, 1er vol., et pour empêcher le développement des courants induits et la production de l'étincelle au commutateur, il lui a appliqué le système de commutateur que nous avons décrit page 262, 1er vol. Il prétend que cet appareil a très-bien marché; reste à savoir la force qu'il a pu développer.

Les plus grands moteurs électro-magnétiques de M. Froment ont été construits dans le système de la rotation directe; il en a fait usage pour mettre en mouvement les petits tours de ses ateliers et ses machines à diviser[1]. Un de ceux qu'il a construits pour la Sorbonne, a été appro-

1. Ces machines sont tellement parfaites, que M. Froment a pu diviser un millimètre en mille parties égales, et écrire son nom et son adresse dans un espace encore plus limité. Ces divisions sont d'un usage fréquent pour les recherches microscopiques et astronomiques; elles se font en général sur verre.

prié, sur la demande de M. Pouillet, aux expériences d'acoustique. Mais, pour ces différents usages, la régularité parfaite du mouvement était une condition indispensable; et, comme la pile, en s'usant, était loin de la fournir, il a fallu ajouter à ces instruments des régulateurs de vitesse analogues à ceux des machines à vapeur. Nous avons décrit page 347, 1er volume, le genre de régulateur adopté par M. Froment. Celui de M. Mouilleron, dont nous avons parlé page 96, 2e vol., a fourni également de bons résultats.

On a souvent pensé et on a même essayé de faire marcher des barques et des petites voitures par l'intermédiaire des électro-moteurs. Aucun de ces essais n'a réussi; mais quand bien même on arriverait à trouver dans l'électro-magnétisme une force économique, elle ne pourrait être employée dans ce but, à cause du poids énorme qu'il faut donner aux machines pour développer une grande quantité de magnétisme; le grand moteur que j'ai fait construire, et dont j'ai parlé précédemment, pesait plus de cinq cents kilog., et à peine produisait-il la force d'un homme.

L'application la plus utile qui ait été faite des électro-moteurs, est leur emploi pour mettre en marche des ventilateurs et certains métiers pour les travaux de passementerie. Avec un petit modèle mis en mouvement par deux éléments de Bunsen, j'ai pu recouvrir de soie ou de coton quatre-vingt-dix mètres de fil de cuivre dans une heure. C'est déjà, comme on le voit, un résultat avantageux, surtout pour les expériences de physique où l'on a besoin à chaque instant de ces sortes de fils. Les électro-moteurs ont encore été employés par M. Mouilleron à remplacer les mécanismes d'horlogerie dans les télégraphes Morse, et par M. Becquerel à mettre en mouvement ses appareils dépolarisateurs.

TROISIÈME CLASSE.

Moteurs à mouvements combinés. — Plusieurs constructeurs, et, entre autres, MM. Froment, Page, Bourbouze, etc., ont essayé d'amplifier la force électro-motrice en combinant entre elles les différentes actions dynamiques et statiques auxquelles elle donne lieu. C'est ainsi que M. Bourbouze, ou plutôt MM. Breton frères (car ils ont la priorité sur M. Bourbouze), a réuni l'attraction des hélices à l'attraction des électro-aimants, en faisant entrer dans deux longues bobines enroulées de fil métallique deux doubles fers d'électro-aimants dont l'un étant mobile *sert de piston et agit sur un balancier pour la transformation du mouvement.* C'est encore ainsi que M. Froment, voulant utiliser la force perdue par la résistance des électro-aimants fixes de ses appareils à mouvement de rotation directe, les a disposés eux-mêmes sur un tambour mobile, pour tourner en même temps que le tambour portant les armatures. Alors les mouvements peuvent se trouver combinés ensemble, par l'intermédiaire d'un engrenage. Cette disposition lui a permis d'agir sur 3 et même sur 4 systèmes de tambours à armatures, avec un seul système d'électro-mobiles. (Voir la fig. 7, pl. III.) Mais, de tous ces systèmes à mouvements combinés, le plus ingénieux est celui dans lequel M. Froment a combiné le système d'attraction normale à petite distance avec le système de mouvement de rotation directe.

Pour s'en faire une idée, qu'on imagine, l'une dans l'autre, deux circonférences ou cerceaux concentriques de cuivre A et B, fig. 4, pl. III, formant un système fixe, et portant, dans leur intervalle de séparation, une série d'électro-aimants disposés suivant le rayon des cercles. Ces électro-aimants dont les pôles se font jour au travers de la plus petite des deux circonférences, se trouvent échelonnés

deux à deux, transversalement, au dedans du système. A l'intérieur de cette espèce de couronne d'électro-aimants, est disposée la roue mobile qui porte les armatures de fer doux en nombre égal à celui des électro-aimants. Cette roue est destinée à tourner à l'intérieur de la circonférence interne, et se trouve liée à l'arbre moteur par une manivelle dont la partie excentrique passe par son centre. Le commutateur est sur l'arbre moteur et renvoie successivement le courant d'un électro-aimant au suivant. Or, voici ce qui arrive quand l'appareil fonctionne : l'armature de la roue mobile qui a subi l'effet de l'électro-aimant possédant le courant, a rapproché cette roue de la partie correspondante de la circonférence intérieure de telle sorte que l'armature en prise occupe le point de tangence. Mais en ce moment le courant est rompu et l'électro-aimant suivant, en attirant l'armature correspondante placée alors presque normalement au-dessus de lui, fait tourner la roue de l'arc de cercle compris entre deux électro-aimants consécutifs ; le point de tangence se trouve donc déplacé. Mais, comme le courant se trouve alors réagir plus loin, un nouvel arc de cercle est décrit et ainsi de suite. On voit donc que la roue mobile, en tournant ainsi autour de la couronne d'électro-aimants, entraîne la manivelle et communique à l'arbre moteur un mouvement circulaire qui s'opère sans transformation, bien que les attractions soient toutes normales entre les électro-aimants et leurs armatures.

L'inconvénient de ce genre de moteur, qui a d'ailleurs une grande force, est d'ébranler toute la monture des différentes pièces qui le composent, ce qui est une cause de détérioration rapide.

M. Froment avait cru surmonter cet inconvénient en établissant son moteur sur le principe précisément inverse, c'est-à-dire en rendant fixe la roue intérieure, en la garnis-

sant d'électro-aimants et en rendant mobile la circonférence externe qui se trouvait alors munie des armatures; mais un inconvénient bien plus grave s'est manifesté; il n'en résultait rien moins que la *déformation* de la circonférence portant les armatures. Celle-ci, en effet, s'infléchissait sous l'action des électro-aimants et l'on perdait ainsi tout le bénéfice de l'attraction normale.

M. Wheatstone prétend avoir imaginé en 1841 un moteur analogue à celui que nous venons de décrire. Suivant lui, ce moteur serait décrit dans la deuxième édition du *Chemical philosophy*, de M. Daniell, publiée en 1841.

Quoi qu'il en soit, M. Wheatstone n'est pas le seul qui se soit rencontré avec M. Froment dans les combinaisons de ce genre de moteur. Nous avons déjà dit que M. Jedlick prétendait l'avoir inventé dès l'année 1829, et dernièrement M. Marié Davy l'a présenté sous une forme un peu plus compliquée devant la Société d'encouragement et l'Académie des sciences. N'est-ce pas le cas de dire que les beaux esprits se rencontrent?

Electro-moteur de M. Marié Davy.— « Cet électro-moteur, dit M. Becquerel, se compose de soixante-trois électro-aimants disposés à égale distance autour d'un cercle de bois garni intérieurement d'un cercle de cuivre; tous les électro-aimants ont leur axe dirigé vers le centre de la roue, et leur surface coïncide avec la surface concave du cercle de cuivre. Dans l'intérieur de cette grande roue, il s'en trouve deux autres dont le rayon est le tiers de celui de la première, et qui sont garnies intérieurement d'un cercle de cuivre; ces roues portent chacune vingt et un électro-aimants équidistants, dont les uns sont dirigés vers leur centre réciproque, et dont les surfaces polaires coïncident avec les surfaces concaves des roues de cuivre. Les petites roues peuvent donc rouler sans glissement dans l'intérieur de la grande roue, et entraîner dans leur mou-

vement l'arbre de la machine, qui coïncide avec l'axe de la grande roue. Les électro-aimants mobiles viennent se mettre successivement en contact avec les électro-aimants fixes. Les grandes et petites roues sont munies d'un engrenage destiné à maintenir la coïncidence une fois établie.

« La machine est pourvue de pièces destinées à mettre successivement chacun des électro-aimants en communication avec la pile, et à donner une aimantation différente aux deux électro-aimants en présence, à l'instant où ils agissent l'un sur l'autre.

« M. Marié a également remplacé les roues intérieures garnies d'électro-aimants, par d'autres qui sont munies seulement d'armatures de fer doux ; la partie mobile est ainsi plus légère et les engrenages deviennent inutiles. Les roues de fer doux roulent donc comme des galets sur la surface intérieure de la roue enveloppante, de façon à venir successivement en contact des électro-aimants au moment de leur aimantation. »

Comme on a pu en juger par cette description, la machine de M. Marié Davy n'est qu'une copie compliquée de celle de M. Froment. Pourtant l'Académie des sciences, en général si sobre de rapports, a jugé à propos, non-seulement d'en publier un au sujet de cette machine, mais encore d'accorder à son auteur une somme de 2,000 francs pour faire des expériences en grand. Nous n'avons pas entendu parler depuis trois ans de ces essais, et je doute qu'ils produisent des résultats plus avantageux que ceux dont nous avons parlé précédemment. Toujours est-il que si le moteur de M. Marié Davy ne présente rien de nouveau dans ses combinaisons électro-mécaniques, le Mémoire qu'il a présenté à ce sujet renferme des considérations d'une ordre élevé sur les électro-moteurs, et c'est sans doute ce Mémoire que l'Académie a voulu récompenser. Parmi les conclusions de ce Mémoire, il en est une que je crois

intéressant de rappeler ici, et nous allons l'extraire du rapport même fait à l'Académie.

« M. Marié Davy a pensé, et avec raison, que pour obtenir le maximum d'effet dans les machines électro-magnétiques, il fallait que les électro-aimants et les armatures pussent agir jusqu'au contact attendu, que la force électro-magnétique, comme il l'a prouvé par le calcul et l'expérience, décroît si rapidement avec la distance qu'en employant deux électro-aimants, lorsque ceux-ci s'approchent de l'infini jusqu'au contact, ils développent une quantité de travail telle que les cinq sixièmes le sont dans le dernier millimètre et moitié du reste dans l'avant-dernier; en remplaçant le deuxième électro-aimant par une armature de fer doux, les trois quarts de la quantité de travail sont produits dans le dernier millimètre de parcours de l'armature et plus de la moitié du reste dans l'avant-dernier. Or, dans la plupart des machines électro-magnétiques rotatives construites jusqu'à présent, les armatures mobiles passent rapidement devant les électro-aimants fixes suivant une ligne perpendiculaire à l'axe sans arriver jusqu'au contact. Ainsi on n'utilise pas toute la quantité de travail que l'on pourrait obtenir. »

ÉLECTRO-MOTEURS FONDÉS SUR LES RÉACTIONS RÉCIPROQUES DES ÉLECTRO-AIMANTS

Les électro-aimants, pouvant réagir entre eux comme aimants et comme armatures, ou pour parler plus scientifiquement, pouvant agir dynamiquement et statiquement, on a pensé souvent à remplacer dans les moteurs précédents les armatures de fer doux par ces organes électriques. Le premier moteur de M. Marié Davy avait été, comme nous l'avons vu, construit dans ce système. Celui de M. Ed. Becquerel, qui est au Conservatoire des arts et métiers, est également un appareil de ce genre. Toutefois, on n'a pas obtenu de ces électro-moteurs tous les avantages

qu'on en espérait ; car, aux inconvénients que j'ai signalés dès le commencement de ce chapitre, se joignaient ceux des courants d'induction produits par les réactions réciproques des électro-aimants les uns sur les autres. Aussi, un électro-moteur de grande dimension, établi dans ce système et armé de 288 gros électro-aimants, n'a-t-il pu être mis en mouvement, quelque forte que fût la pile qu'on lui appliquât.

Electro-moteur de M. Ed. Becquerel. — Ce système, qui a précédé celui de M. Larmenjeat, que nous avons décrit, est fondé sur le même principe que ce dernier ; seulement, n'étant pas destiné à produire une grande force, il n'est muni que d'un électro-aimant circulaire au lieu de trois, et encore cet électro-aimant n'a que deux pôles ou deux rondelles. Dans ce système, les cylindres de fer doux servant d'armatures, sont remplacés par des électro-aimants fixés à l'intérieur d'une circonférence de fer comme ceux du moteur de M. Froment, représenté fig. 4, pl. III. La réaction électrique est du reste exactement la même que dans le moteur de M. Larmenjeat. Seulement, le commutateur a dû être un peu plus compliqué en raison de la double action qu'il a à produire.

M. Becquerel, à l'aide de cet appareil, a pu démontrer la vérité du raisonnement que nous avons exposé tout à l'heure relativement aux effets contraires des courants induits. Ainsi, il a reconnu que le maximum de vitesse du moteur était obtenu quand l'électro-aimant circulaire était à l'état naturel, et quand les extrémités du fil entourant cet électro-aimant n'étaient pas jointes ensemble, ce qui, comme on le comprend facilement, empêchait le courant d'induction de se développer.

ÉLECTRO-MOTEURS DANS LESQUELS LA PESANTEUR INTERVIENT COMME SOURCE DE PUISSANCE.

Bien des chercheurs de mouvement perpétuel se sont creusé la tête pour obtenir, par des allongements et rac-

courcissements de bras de levier, la destruction d'équilibre d'une roue munie de contre-poids. Malgré toutes leurs combinaisons, il fallait toujours en venir à réagir d'une manière quelconque soit sur ces poids, soit sur les leviers qui les soutenaient. Ce problème, tant caressé par certains mécaniciens, a été repris dernièrement par plusieurs personnes, en faisant intervenir, comme agent auxiliaire, l'électricité. Les unes ont voulu employer l'électricité à remonter les poids dont la chute avait provoqué la rotation du moteur; les autres, avec beaucoup plus de raison, ce me semble, ont cherché simplement à faire réagir l'électricité pour modifier les conditions de longueur des bras de levier supportant ces poids moteurs. Parmi les moteurs de ce genre, je vais décrire celui que M. J. Menant et moi avons combiné il y a quelques mois.

Électro-moteur de MM. J. Menant et Th. Du Moncel. — Imaginons, fixés sur un axe horizontal mobile M, fig. 8, pl. III, de forts rayons équidistants de forme rectangulaire et construits en matière non magnétique; concevons que, sur ces rayons, puissent glisser librement, dans le sens de leur longueur, de fortes gaînes ou étuis de cuivre terminés à leur extrémité libre par un fort tourillon servant de pivot à une roue très-pesante de fer A, A′, A″, etc.; enfin, supposons qu'à partir du point B soient disposés sur une ligne droite B C une série d'électro-aimants E, E′, E″, etc. rangés les uns à côté des autres. On concevra facilement que si les roues A, A′, A″, etc., ont leur circonférence taillée comme les disques de fer des électro-aimants circulaires du moteur de M. Larmenjeat, c'est-à-dire composée alternativement de parties de cuivre et de parties de fer, elles pourront (par l'intermédiaire d'un commutateur renvoyant successivement le courant d'un électro-aimant à l'autre) être entraînées du point B au point C, en faisant glisser leur support sur les rayons de l'arbre M, et être ensuite

abandonnées à elles-mêmes à partir du point C. Le poids de ces roues étant alors inégalement réparti des deux côtés du système moteur, par suite de l'inégale longueur des leviers auxquels ces poids sont appliqués, ce système sera mis en mouvement; mais pour que ce mouvement continue, il faut que ces bras de levier sur lesquels réagissent par leur poids les roues A, A′, A″, etc., se raccourcissent immédiatement après leur chute de C en D.

Pour cela, les gaînes ou glissières de cuivre servant de support aux roues A, A′, sont munies de fortes chevilles sur lesquelles sont articulées des bielles G H, G′ H′, etc., pivotant sur un même tourillon fixe placé latéralement et excentriquement en K à côté de la roue. Ces bielles portent en G une petite rainure dont nous verrons à l'instant l'utilité; enfin, ces mêmes glissières de cuivre sont munies à leur partie inférieure d'une forte pièce de fer I, I′, servant d'armature à des électro-aimants O, O′, O″, etc., fixés sur les rayons de l'arbre moteur.

Avec cette disposition, on concevra facilement que les bielles G H, G′ H′, ayant leur centre de mouvement en dehors de l'arbre moteur et du côté C, ne tendront pas à raccourcir les bras de leviers M A, M′ A′, etc., tant que ceux-ci seront développés du côté C; mais quand ils se trouveront reportés du côté opposé, ces bielles tireront à elles les glissières des roues A, A′, etc., et par cela même raccourciront ces bras de levier. Au moment où ce raccourcissement sera complétement effectué, le commutateur dirigera un courant à travers les électro-aimants O, O′, O″, qui se trouveront alors en contact avec les armatures I, I′, I″; alors les bras de levier M A, M A′, etc. se trouveront maintenus à leur minimum de longueur jusqu'à ce que les roues A, A′ soient arrivées successivement devant l'électro-aimant E. En ce moment seulement, le commutateur rompt le courant à travers les électro-aimants O, O′ pour le reporter

dans les électro-aimants E, E′, E″, etc., qui rallongent de nouveau les bras de levier M A, M A′, etc. C'est pour permettre aux bielles G H, G′ H′ de se développer, lorsque les rayons M A, M A′ s'approchent des électro-aimants E, E′, etc., qu'une rainure a été adaptée à l'articulation des bielles G H, G′ H′ avec les glissières des roues A, A′, etc. Inutile de dire que toutes les réactions dont nous venons de parler sont successives et se répètent pour chacune des roues A, A′, A″, etc. Il en résulte que, quand une de ces roues ne réagit plus pour faire tourner le moteur, il s'en trouve toujours derrière elle deux autres qui exercent leur action.

Quantité de travail produit par quelques électro-moteurs.

Il n'est pas sans intérêt de placer ici les résultats des expériences faites devant le jury de l'Exposition universelle de 1855, pour constater la puissance mécanique et la dépense de quelques-uns des électro-moteurs présentés à cette exposition. On a choisi les quatre appareils qui, d'après leurs dimensions, ont permis d'y adapter un frein dynamométrique. Ces appareils étaient : 1° la machine de M. Larmenjeat; 2° une machine construite par M. Loiseau et analogue à la machine rotative de M. Jacobi; 3° la machine oscillante de M. Roux; 4° la machine oscillante de MM. Fabre et Kunemann. Voici, d'après M. Ed. Becquerel, l'un des membres du jury, comment on a procédé pour la mesure du travail de ces moteurs :

« La quantité de travail a été donnée à l'aide du frein dynamométrique. Afin de connaître la dépense en électricité, on a fait passer le courant électrique circulant dans la machine dans un voltamètre à sulfate de cuivre; le sel a été décomposé, et du cuivre métallique s'est précipité au pôle négatif pendant que l'électrode positive se rongeait. Il y a, il est vrai, une petite différence entre le poids du dépôt au pôle — et la perte de poids au pôle + ; mais pour

les expériences de cette nature, elle est insignifiante, et on prend la moyenne des deux déterminations. Or, comme dans chaque élément de pile le travail chimique est le même que dans le voltamètre, il est donc facile d'évaluer la quantité de zinc dissous dans chaque couple d'après la quantité de cuivre déposée dans le voltamètre; en multipliant ce nombre par le nombre des éléments de la pile, on en déduit la consommation totale du zinc. On peut donc, dans un temps donné, avoir par cette méthode et la quantité de travail donné par le frein et la dépense pour la consommation du zinc.

« Des quatre machines soumises à l'expérience, deux seulement, celle de M. Larmenjeat et celle de M. Roux, ont donné des résultats susceptibles de fournir des déductions intéressantes.

« La machine rotative de M. Larmenjeat a donné, comme minimum de dépense, 4 k. 5 de zinc de consommation par cheval de force et par heure. Si l'on ne fait attention qu'au prix de revient du zinc supposé de 0 fr. 70 c. le kilog., et qu'on néglige même le prix des acides employés, celui de l'usure des couples, etc., on trouve que cette consommation correspondrait encore à 3 fr. 15 c. par cheval et par heure.

« La machine oscillante de M. Roux, qui, avec la même surface d'éléments que la précédente, a consommé 6 k. 6 par cheval et par heure, a donné une consommation qui s'est abaissée au tiers, soit 2 k. 2, avec des éléments de piles à grande surface; le prix en zinc seul du cheval serait, d'après ces derniers nombres, de 1 fr. 50 par heure. Il est vrai que M. Roux avait employé pour ses électro-aimants du très-gros fil. En tout cas, la dépense même portée au minimum de 2 k. 2 de zinc par cheval et par heure, soit de 1 fr. 50 pour une machine qui ne donne pas plus d'un demi-kilogrammètre, est encore trop forte pour qu'on puisse con-

sidérer actuellement les électro-moteurs comme susceptibles d'application. »

VII

ACCESSOIRES DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Nous avons décrit avec détail, au commencement de notre deuxième volume, les différents systèmes télégraphiques jusqu'à présent imaginés, mais nous ne sommes entrés dans aucun détail sur les accessoires de ces appareils, qui jouent pourtant un rôle important non-seulement dans le service de la télégraphie, mais encore dans la mise en jeu des instruments eux-mêmes. Ce sont ces accessoires, qui vont faire l'objet de ce chapitre, que nous subdiviserons de la manière suivante :

1° Relais ; 2° relais pour la double transmission des dépêches ; 3° translateurs ; 4° relais silencieux ; 5° parafoudres ; 6° dispositions des postes télégraphiques.

RELAIS

D'après ce que nous avons dit du principe des relais dans le chapitre 5 du livre II, 1er vol., on pourrait croire que rien ne serait plus facile que la construction de ces appareils. Pourtant, il est loin d'en être ainsi, et la plupart des constructeurs les plus habiles de l'Europe se sont appliqués à les perfectionner, de manière à leur donner à la fois une grande sensibilité, une grande rapidité dans leurs mouvements, et une grande sûreté dans les contacts appelés à fournir les transmissions électriques.

La fig. 9, pl. III, représente le relais des télégraphes américains de Morse. L'électro-aimant est placé verticale-

ment, les pôles en haut, et son armature C est fixée sur un levier métallique AB articulé en D, qui, par sa longueur, amplifie considérablement la course accomplie par l'armature. L'extrémité libre de ce levier oscille entre deux vis *p* et *p'*, dont l'une *p* est munie d'une cheville d'ivoire et sert de butoir ; l'autre *p'*, qui communique métalliquement avec le support G, est en relation par la lame Q avec l'un des pôles de la pile locale P. L'autre pôle de cette pile aboutit au support de la vis de rappel S, qui, par l'intermédiaire d'un écrou mobile, sert de régulateur au ressort antagoniste *r*. C'est par cet écrou et ce ressort que le courant arrive au levier AB, lequel, par son contact avec la vis *p'*, ferme le courant de la pile locale.

Dans le relais de MM. Siemens et Halske, l'armature de l'électro-aimant est constituée par deux lames de fer doux EE, GG, fig. 10, pl. III, adaptées à deux axes verticaux pivotant sur les pôles mêmes de l'électro-aimant. Ces armatures sont placées assez près de ces pôles pour partager fortement leur magnétisme. L'armature EE est fixe ; l'armature GG est mobile, mais elle est maintenue contre un arrêt isolant K par un ressort antagoniste H, dont la tension peut être réglée au moyen d'un écrou. Les arrêts K et N sont placés sur une pièce métallique L, qui peut être mise en mouvement par l'écrou T pour régler la distance entre les deux armatures. La vis N sert à régler l'étendue du mouvement du levier G. C'est le contact de ce levier G contre le butoir N qui constitue le relais ; en conséquence, la pièce L est mise en rapport avec l'un des pôles de la pile, et le courant arrive au levier G par l'équerre qui lui sert de support.

Pour obtenir une réaction plus prompte de la part des ressorts antagonistes, M. Hipp a donné à l'armature de ses relais deux ressorts au lieu d'un. Ces ressorts agissent sur cette armature d'une manière opposée ; mais en modifiant

leur tension, on peut faire prédominer l'action de celui qui doit rappeler l'armature. La fig. 11, pl. III, représente le relais de M. Hipp. L'électro-aimant est en E et l'armature en A ; celle-ci est disposée en croix à l'extrémité d'un levier BC, qui oscille sur deux couteaux DD. L'étendue de cette oscillation, comme dans les relais de M. Morse, est réglée au moyen de deux vis F, G, dont l'une G est munie d'une pointe d'ivoire. Les ressorts antagonistes sont fixés aux deux extrémités de la colonne creuse HL (vue en coupe sur la figure) et sont reliés au levier BC par deux boucles *i i'*. Une vis H permet de tendre à volonté le ressort H *i* ; enfin la vis F, dont la monture FI est isolée métalliquement de la colonne, est en rapport avec l'un des pôles de la pile locale, dont l'autre pôle communique avec le ressort *i'* L.

C'est un relais de ce genre que nous avons dessiné dans la fig. 4, pl. III du 2e volume, qui représente le télégraphe imprimeur de M. Theiler.

Dans les relais de M. Breguet, les leviers ou les armatures qui doivent opérer les contacts sont toujours terminés par des lames de ressort. M. Breguet croit que ce mode de contact doit toujours être préféré à celui de deux pièces rigides, et il a même étendu ce principe aux clefs des télégraphes Morse. D'autres constructeurs, au contraire, prétendent que les relais dont les pièces de contact sont rigides fonctionnent plus rapidement. C'est l'expérience qui pourra décider entre ces deux assertions.

On a varié de mille manières la disposition des relais, ou pour mieux dire chaque constructeur a son modèle qu'il préfère nécessairement à tous les autres. Je n'essaierai donc pas d'en faire une nomenclature, qui, du reste, n'aurait aucun intérêt. Je dirai seulement que ceux qui sont en ce moment le plus en réputation dans toute l'Allemagne sont ceux de MM. Hipp et Siemens. Ceux de M. Mouilleron, que nous avons représentés planches II et VIII de notre

deuxième volume, sont assez recherchés en France; mais dans toutes ces préférences, la prévention et le caprice jouent, je crois, un très-grand rôle.

Les relais, comme nous l'avons dit dans notre premier volume, n'ont pas seulement pour fonctions de reproduire des fermetures et des interruptions de courant; ils peuvent avoir des fonctions beaucoup plus complexes, à remplir. Ainsi ils peuvent être conjoncteurs ou disjoncteurs, conjoncteurs complexes ou disjoncteurs complexes à doubles ou à simples fonctions. Le relais employé par M. Mirand pour son système moniteur lors de la disjonction des trains, dont nous avons parlé page 214, 1er vol., est un relais disjoncteur; le relais employé par M. Liais pour enregistrer les différences des longitudes et dont nous avons parlé page 447, 2e vol., est un relais conjoncteur complexe. Les relais dont j'ai parlé au sujet de mon télégraphe imprimeur, page 132, 2e vol., et de mon moniteur des chemins de fer, page 196, 2e vol., sont des relais à doubles fonctions; mais, en outre de ces relais, il en est d'autres qui doivent réagir en renversant alternativement le sens du courant. Ce sont ces relais auxquels on a donné le nom de relais inverseurs.

Dans son mémoire sur la télégraphie électrique, M. Gloesener décrit plusieurs systèmes de ces relais inverseurs qu'il dit pouvoir remplacer avantageusement tous les translateurs des stations intermédiaires, en raison de leur extrême sensibilité. Celui de ces relais qu'il donne comme le plus sensible fonctionne sous l'influence d'un système magnétique composé de deux électro-aimants combinés à un cadre galvanométrique, comme le système que nous avons décrit page 229, 1er vol. Quand ce système est employé comme relais, il faut que les pôles de l'électro-aimant soient très-rapprochés de la bascule aimantée, et que celle-ci soit composée de trois aiguilles, dont deux compensées ainsi qu'on l'a vu pour le télégraphe à aiguilles du même auteur.

Ce sont deux petites lames flexibles placées des deux côtés de la bascule aimantée et appuyées contre les extrémités d'une traverse métallique commune qui constituent le relais, et, au besoin, d'inverseur du courant de la pile locale. A cet effet, ces deux lames sont en relation par leur extrémité inférieure avec l'appareil télégraphique que le relais doit faire agir, et l'axe de la bascule aimantée, qui est isolé, est en rapport avec le pôle positif de la pile, tandis que le pôle négatif correspond à la traverse commune. Avec cette disposition, voilà ce qui arrive quand l'appareil fonctionne : Quand la bascule aimantée se trouve inclinée de gauche à droite, l'une des lames flexibles que nous appellerons *a* sera écartée de la traverse métallique contre laquelle elle était appuyée, et, recevant de cette bascule le courant positif, elle le transmettra à l'appareil télégraphique où arrive le courant négatif, venant par le ressort que nous appellerons *b*; mais aussitôt que la bascule inclinera en sens inverse, le courant entrera dans l'appareil télégraphique par la lame *b* et en ressortira par la lame *a*. Ce système de relais inverseur est exactement fondé sur le même principe que le manipulateur de M. Gloesener, que nous avons décrit page 31, 2e vol.

Pour obtenir des relais à doubles fonctions et à doubles contacts agissant d'une manière sûre, M. Régnard a adopté la disposition que nous avons représentée fig. 12, pl. III. Elle consiste dans deux leviers S et E, S′, E′ adaptés aux deux armatures aimantées A B, A′ B′ oscillant en C et C′; ces leviers sont disposés de manière à rencontrer une bascule d'ivoire N M, N′ M′ munie à ses deux extrémités de plaques métalliques en rapport avec les deux circuits locaux sur lesquels le relais est appelé à agir. Comme ces bascules N M, N′ M′ oscillent librement en *c*, *c′* et qu'elles ne sont maintenues dans une position horizontale que par des ressorts à boudin *x*, *y*, par lesquels les plaques de ces

bascules sont mises en rapport avec les circuits locaux, ces bascules se placent toujours de manière que les plaques N et M soient également pressées par les tiges E, S.

RELAIS POUR LA DOUBLE TRANSMISSION DES DÉPÊCHES.

Dans l'état actuel des appareils électriques chaque station est obligée, avant de transmettre une dépêche, d'attendre la réponse faite à celle qui l'a précédée; or, sur certaines lignes où le service télégraphique est surchargé, cette perte de temps peut être souvent très-préjudiciable. On a donc cherché si l'on ne pourrait pas transmettre simultanément de deux stations opposées deux dépêches différentes sans pour cela augmenter les frais d'installation des lignes télégraphiques. Ce problème a été réalisé en 1853 par M. Gintl, de Vienne.

Au premier abord, on comprend difficilement que le tégraphe puisse faire ce que la parole serait impuissante à réaliser. Mais si l'on réfléchit aux ressources immenses que mettent entre nos mains les réactions électriques, le merveilleux du problème se réduit à de simples combinaisons de courants.

Supposons que le fil partant du pôle positif d'une pile placée à une station A, fig. 13, s'enroule autour de deux électro-aimants relais E, E′, placés l'un à la station A, l'autre à la station B; la communication avec le sol étant établie entre le relais de la station B et le pôle négatif de la pile de la station A, le courant circulera à travers les deux électro-aimants, et partant, ceux-ci deviendront actifs. Mais si des deux pôles, d'une seconde pile placée à la station A, on fait partir deux conducteurs communiquant avec un second fil, dont l'électro-aimant E sera entouré, de manière que le courant, issu de cette nouvelle pile, traverse l'électro-aimant en sens inverse du premier, il arri-

vera que les deux courants tendront à développer une action magnétique d'une manière opposée, et s'ils sont équilibrés par l'interposition de bobines de résistance dans le circuit le plus court ou par la diminution de la puissance électrique, l'électro-aimant E deviendra complétement inerte, et il n'y aura alors que l'aimantation de l'électro-aimant E′ qui se maintiendra.

Admettons maintenant qu'à la station B on établisse un second circuit à travers l'électro-aimant E′, comme on l'a fait à la station A, et que les pôles positifs des piles de ligne des deux stations soient en rapport avec le fil de la ligne, il arrivera que quand B enverra son courant à la station A la pile de cette dernière station, n'étant pas mise en fonction, le relais E′ de B sera inerte, tandis que le relais E de A sera actif, absolument comme quand A envoyant son courant à B, le relais de B devenait actif au moment où celui de A ne l'était pas. Ainsi, par cette combinaison, le courant envoyé par l'une et l'autre des stations ne réagit que sur le relais de la station opposée. Voyons maintenant ce qui arrive quand les dépêches sont transmises en même temps.

Les manipulateurs sont alors placés avant les relais et sont pourvus de deux contacts. Quand la station A, dans la transmission de sa dépêche, ferme le courant, alors que la station B interrompt le sien, le relais E est inerte, et par suite le récepteur de la station A; mais le relais E′ qui se trouve alors traversé par un seul courant (celui qui parcourt la ligne) devient actif. Un signal se trouve donc transmis sur le récepteur de la station B. Quand, au contraire, la fermeture des courants s'opère à la fois aux deux stations, les deux courants qui parcourent le circuit de la ligne télégraphique se trouvent neutralisés l'un par l'autre et les deux relais deviennent actifs sous l'influence des courants des piles locales qui sont alors prépondérants; un si-

gnal se trouve donc transmis à la fois, dans ce cas, sur chaque appareil récepteur.

Comme une correspondance télégraphique se compose de plusieurs séries de fermetures et d'interruptions alternatives de courant, et que le signal correspondant à une fermeture de courant à l'une des stations, est toujours sûr d'être transmis soit directement, soit indirectement à l'autre station, que celle-ci envoie ou n'envoie pas de courant, on comprend facilement que la transmission simultanée des correspondances se trouve complétement indépendante du jeu des manipulateurs, et que les interruptions et fermetures de courant opérées aux deux stations peuvent être en discordance ou en concordance, les unes, par rapport aux autres, sans qu'il en résulte aucune confusion dans le jeu des récepteurs.

Le principe de cette transmission simultanée des signaux électriques n'est pas nouveau. Nous avons déjà dit, page 289, 1er vol., et page 336 2e vol., que M. Wheatstone l'avait employé dans un de ses appareils chronographiques. Depuis, ce moyen a été fréquemment mis en usage dans les expériences de balistique, par MM. Martin de Brettes, Navez, etc.; mais ce n'est qu'en 1853 qu'il a été appliqué, pour la première fois, à la télégraphie électrique.

Les expériences qui eurent lieu à cette époque ayant été faites avec un télégraphe électro-chimique, les dispositions de relais que nous avons indiquées n'existaient pas. Les courants supplémentaires aux stations traversaient simplement les appareils électro-chimiques en sens inverse des courants de la ligne, et comme par les résistances interposées dans les circuits les deux courants émanés de chaque station étaient égaux, les effets chimiques ne s'opéraient que sous l'influence seule des transmetteurs des stations opposées.

Presque en même temps que M. Gentl, plusieurs physi-

ciens, entre autres MM. Edlund Wartmann, Siemens, s'étaient occupés de ce problème et l'avaient résolu à l'insu les uns des autres de la même manière. Toutefois, parmi ces physiciens, M. Wartmann est celui qui avait présenté la question de la manière la plus complète et la plus précise.

Suivant lui, on peut relier le fil de la ligne aux piles de ligne des stations sans distinction des pôles; car, dit-il, si les deux courants fournis en même temps aux deux stations parcourent la ligne en sens contraire, les signaux parviennent, comme nous l'avons vu, sous l'influence des courants supplémentaires locaux; si, au contraire, ils vont dans le même sens, l'équilibre est détruit par l'augmentation de force de l'un de ces courants (celui de la ligne) et les appareils marchent sous l'influence du courant différentiel qui en résulte.

On pourrait aussi, au lieu d'employer une pile additionnelle pour l'établissement du courant équivalent, dériver ce courant de la pile de ligne elle-même; mais M. Wartmann regarde ce système comme beaucoup moins avantageux par la raison qu'en dérivant ainsi le courant de la pile toujours très-forte qui est en rapport avec la ligne, on en diminue la force inutilement, tandis qu'en employant, comme courant équilibrant, celui d'une pile auxiliaire qui peut consister dans un seul élément, en raison du peu de résistance que que présente le circuit dérivé, on laisse à la pile de la ligne toute sa force. Du reste quelque système de courants équilibrés qu'on adopte il est indispensable d'employer un régulateur de courant ou tout au moins un rhéostat car l'un de ces circuits étant toujours à l'abri et l'autre exposé à l'air il arrivera souvent que la résistance interposée dans le circuit additionnel qui sera en rapport avec la résistance de la ligne par un beau temps, pourra bien ne plus l'être avec un temps pluvieux ou par suite de réactions de courants accidentels; il faudra donc de nouveau rétablir l'équilibre. En

adaptant au système un régulateur mécanique de courants tel que celui de M. Wartmann, que nous avons décrit dans le premier volume, on éviterait le soin de régler ainsi cet équilibre.

Il est facile de comprendre que puisque c'est par l'intermédiaire de relais que les réactions électriques produites à l'aide des transmetteurs parviennent aux récepteurs, tous les systèmes télégraphiques peuvent être disposés de manière à correspondre simultanément; cependant, c'est au système Morse que cette disposition s'applique le mieux, puisque ceux-ci exigent déjà pour fonctionner des relais. C'est l'organisation d'un système de ce genre que nous avons représentée fig. 13, pl. III.

S S′ sont les clefs des télégraphes des deux stations A et B; elles possèdent deux contacts isolés M et L auxquels aboutissent d'une part (au contact M), le pôle positif de la pile de ligne P, et de l'autre (au contact L), le pôle négatif de la pile locale V. Les vis H et F, isolées également l'une de l'autre et correspondant aux contacts M et L, communiquent l'une H, avec l'un des fils O du relais T, par un conducteur extensible, l'autre F, avec le fil de la ligne. Un troisième contact K établit, quand la clef ne fonctionne pas, une relation électrique entre le relais et le circuit de la ligne. Enfin des liaisons métalliques PO, TC, OGRV, relient les deux fils des relais aux deux piles et achèvent le circuit additionnel. Voici quelle est la marche des courants quand les transmetteurs fonctionnent : quand la clef S′ est abaissée à la station B, le courant de la pile de ligne va de P′ en L′, de L′ en F′, de F′ en I, à la station A; de I en K, de K au relais T à travers le fil N, et revient à la pile par le sol, le relais T′ de la station B et le fil P′ D′. En même temps le deuxième contact M′ de la clef S′ fait circuler le courant de la pile V′ de M′ en H′, de H′ au travers le relais par le fil O′, de là dans le rhéostat R′ et du rhéostat à la pile.

La même marche des courants a lieu quand la clef S de la station A est mise en fonction séparément.

On remarquera qu'avec cette disposition des appareils qui a été combinée par M. Wartmann, l'annulation l'un par l'autre des deux courants envoyés des deux stations, n'est pas nécessaire quand les clefs fonctionnent simultanément, car alors ces courants ne peuvent plus passer à travers les relais puisque les vis I ne touchent plus les contacts K. Ce système, comme on le comprendra facilement, est préférable à celui qui est uniquement basé sur la neutralisation des courants, car il est impossible que les courants transmis par deux stations aient exactement la même intensité, et le courant différentiel qui en résulte contribue à affaiblir la réaction électro-magnétique produite par les courants équilibrants.

M. Wartmann a combiné encore de deux autres manières les appareils précédents pour réduire le nombre des contacts que doivent opérer les clefs dans leurs mouvements; mais ces dispositions me paraissent d'un effet moins sûr que celle que nous venons d'étudier, et d'ailleurs dans ces dispositions il faut dériver le courant équilibrant de la pile de ligne. (Voir la bibliothèque de Genève, de mars 1856.)

TRANSLATEURS

Les translateurs imaginés par M. Steinheil ne sont, à proprement parler, que des relais ; mais ces relais ne peuvent pas suppléer aux autres, comme nous l'avons déjà fait observer page 95, 2e vol. En effet, les relais appelés à mettre en fonction l'appareil Morse, fonctionnant sous l'influence d'une pile de ligne et à longue distance, doivent être recouverts de fil fin. Ils n'ont pour effet que de réagir sur le circuit d'une pile locale, sans longueur appréciable, et dans lequel est interposé l'électro-aimant du télégraphe. Or, si au lieu de faire réagir le télégraphe d'une station

intermédiaire B, on veut envoyer directement la dépêche à la station extrême C, le relais de la station B ne pourra pas réagir sur le relais de cette station C, car le courant de la pile locale qu'il dirige est beaucoup trop faible pour exercer cet effet. En employant donc l'armature de l'électro-aimant du télégraphe comme contact mobile de relais, on fera de ce télégraphe un véritable manipulateur qui pourra réagir sous l'influence directe du relais, au lieu et place de la clef. Il faudra seulement pour cela que ce nouveau relais ait action sur la pile de ligne. Nous avons vu, page 95, 2e vol., comment M. Mouilleron avait disposé son télégraphe pour réaliser simplement cet effet; mais, comme on le comprend facilement, ce problème pourrait être résolu de mille autres manières. Toutefois, nous ferons remarquer qu'en raison de ses rapports avec les manipulateurs, la disposition des appareils exige certaines combinaisons que nous croyons utiles d'étudier ici.

La fig. 14, pl. III, représente la disposition d'un poste télégraphique intermédiaire tout monté avec ses deux appareils télégraphiques X X′ et ses deux clefs Z Z′, pour correspondre avec les postes de droite et de gauche. Les piles de ligne désignées sur le dessin par A A′ peuvent se réduire à une seule G, et les deux autres piles B B′ représentent les piles locales destinées à mettre en jeu les appareils télégraphiques.

Pour comprendre le jeu des translateurs, supposons qu'une dépêche arrive par le fil de ligne Y : le courant envoyé de la station de gauche en rapport, je suppose, avec ce fil de ligne Y, entrera dans la clef Z en *e*, en ressortira en *g* arrivera en M, passera de là à travers le massif de l'appareil X au contact *c* par le levier mobile du translateur de X, aboutira en I, viendra regagner le relais *b′* du télégraphe X′ et retournera à la station de gauche par le bouton T′ et la terre. Sous l'influence de ce passage de courant,

le relais *b'* provoquera une fermeture du courant de la pile locale qui fera fonctionner l'électro-aimant *a'* du télégraphe X', et celui-ci, en mettant en jeu le translateur correspondant, provoquera une fermeture du courant de la pile de ligne A' ou G à travers les appareils télégraphiques de la station de droite. En effet, le courant ira de A' en P', de P' en *d'*, de *d'* en M' par le translateur, de M' en *g'*, puis en *e'*, et arrivera au télégraphe X' de la station de droite en prenant un chemin analogue à celui que nous venons d'étudier, puis il reviendra par la terre à la pile A' ou G, ce qui complétera les fonctions du relais et du translateur de la station intermédiaire dont nous avons représenté la disposition.

Une marche tout à fait analogue aurait été suivie par le courant si, au lieu d'avoir été envoyé de la station de gauche, il eût été transmis de la station de droite ; seulement c'est le relais *b* et le translateur du télégraphe X qui auraient alors fonctionné.

Nous remarquerons que ces liaisons entre les deux appareils télégraphiques du poste ne paralysent nullement le fonctionnement des clefs ; car le courant issu de la pile G se trouve immédiatement transmis par la clef de *h* en *e* ou de *h'* en *e'* (suivant qu'on veut parler à la station de gauche ou à la station de droite), et de là à la ligne Y ou Y'.

Il existe encore un autre montage plus compliqué dont nous croyons inutile de parler, parce qu'il n'est pas généralement adopté. Il consiste à mettre en dehors du fil de ligne les appareils du poste.

Avec ce système de translateurs, la dépêche envoyée d'une station extrême, peut être imprimée à toutes les stations intermédiaires ; il suffit pour cela de faire défiler la bande de papier au moment où le translateur entre en fonction. Mais la plupart du temps on ne déclanche pas le mécanisme du télégraphe, car le bruit seul de l'armature suffit

pour qu'on puisse se rendre compte de la dépêche. Cela est tellement vrai, que dernièrement l'administration des télégraphes a commandé à M. Mouilleron tout un système télégraphique composé uniquement de quatre relais. Deux de ces relais devaient correspondre avec les deux stations de droite et de gauche, et les deux autres marchant sous l'influence d'une pile locale, devaient avoir une armature assez lourde pour reproduire le bruit des leviers porte-style des télégraphes Morse, et servir en même temps de translateurs.

RELAIS ET APPELS SILENCIEUX

Avec la manière dont sont organisés actuellement les postes télégraphiques, il existe trois moyens d'établir une correspondance entre deux stations éloignées. Tantôt elle a lieu par un fil spécial qui joint les stations de premier ordre, et dont le gouvernement se réserve presque toujours l'usage exclusif. Quelquefois la dépêche se répète de poste en poste jusqu'à celui où elle doit aboutir ; enfin, le plus souvent, on ne l'expédie qu'après avoir requis préalablement tous les bureaux intermédiaires de suspendre leur liaison avec la terre.

Ce dernier mode, le seul auquel on puisse avoir recours pour des transmissions rapides quand on ne met pas en jeu les translateurs, présente plusieurs inconvénients ; d'abord il exige le concours des employés dans toutes les stations à franchir, soit pour opérer, soit pour rompre la communication directe. En France, chaque poste prévient le suivant de la durée à donner à cette communication directe ; le temps écoulé, on ramène le fil de terre dans le circuit, et si un accident a ralenti la transmission de la dépêche, il faut redemander de proche en proche la communication nécessaire. En Prusse, on informe les stationnaires du moment où ils doivent refermer le circuit du poste par le sol en fai-

sant retentir une sonnerie spéciale, à l'aide d'un courant plus énergique que celui dont on fait usage pour la transmission des signaux. En Suisse, on n'a pris aucune de ces précautions : à l'appel des stations qui veulent entrer en correspondance, les télégraphistes des bureaux intermédiaires se placent dans la communication directe ; néanmoins le bruit des relais divulge le contenu de la dépêche dans tout son parcours. D'un autre côté, si le ressort qu'on déplace pour exclure le fil de terre porte sur un bouton malpropre ou n'a pas un contact efficace avec lui, le circuit de la station expéditionnaire reste ouvert sans qu'elle ait les moyens suffisants pour faire connaître cet état de choses et en obtenir la cessation. Enfin, un autre inconvénient du mode actuel, c'est le temps perdu pour établir la communication directe. Ce temps, suivant M. Wartmann, s'élève à près d'un quart d'heure pour l'intervalle de Genève à Saint-Gall dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire quand les bureaux intermédiaires sont inoccupés, bien qu'il n'y en ait que quatorze.

« En réfléchissant aux conditions à remplir pour faire disparaître ces inconvénients, dit M. Wartmann, j'ai trouvé dans le jeu des forces électro-magnétiques le moyen d'obtenir automatiquement toutes les fonctions exigées pour les transmissions directes. Dès le mois d'octobre 1851, j'ai construit, en effet, un appareil qui résolvait complétement ce problème, et j'ai montré cet appareil à deux de mes collègues, le général Dufour et le professeur Colladon. La manœuvre de cet appareil, est du reste, des plus simples, et n'exige aucune connaissance spéciale de la part des télégraphistes. »

Système de M. Wartmann. — La fig. 15, pl. III, représente l'appareil de M. Wartmann, auquel j'ai donné le nom de relais silencieux, parce qu'il réagit silencieusement et à l'insu même des employés des stations où il se trouve éta-

bli. Il se compose de deux électro-aimants *y y'* fixés des deux côtés d'une armature aimantée à bascule *m m'* qui oscille en *n*, et se trouve rappelée contre un butoir *p* par un ressort antagoniste *o*; au-dessous de l'extrémité *m* de la bascule et disposée de manière à être rencontrée par elle au moment de son attraction, est fixée une lame de ressort *h* appuyant en temps ordinaire contre une vis *i*. Cette vis est reliée métalliquement avec la plaque de terre, tandis que la lame *h* communique avec les deux électro-aimants *y y'* déjà en rapport avec le fil de ligne.

La longueur du circuit, comprise entre la station A qui envoie la dépêche et la station B où se trouve l'appareil précédent, représente une résistance à la conductibilité, qui exige, pour être vaincue, une intensité de courant facile à déterminer. Ce courant, qui fera fonctionner le relais de la station B, produira dans l'électro-aimant *y* une force d'attraction sur l'armature *m m'* que le ressort à boudin *o* pourra équilibrer, s'il est réglé en conséquence.

Pour télégraphier de A en C, station qui sera au delà de B, il faudra surmonter la résistance additionnelle du conducteur qui s'étend de B à C, et pour cela produire en A un courant plus énergique. Cette augmentation de force de la part du courant pourra être telle qu'il triomphera de la résistance du ressort *o*, et alors l'armature *m m'* se trouvera attirée.

En cédant à cette attraction, cette armature arrache le léger ressort *h* au contact de la vis *i*, et fait cesser toute communication avec la plaque de terre *l*; le courant entre donc dans le fil de l'électro-aimant *y'* en renforçant la puissance qui maintient l'armature attirée, et se rend de là à la station C. De cette manière, la communication directe est établie entre A et C sans qu'aucun employé ne soit intervenu.

Si la station C possède un appareil analogue à la station B,

on pourra, en renforçant encore le courant, pousser jusqu'à D la communication directe, et ainsi de suite jusqu'à la station extrême, pourvu que toutes les stations soient munies d'appareils silencieux. Toutefois, ces communications exigent, pour s'effectuer commodément, plusieurs dispositions accessoires que M. Wartmann a imaginées dans le but :

1° Que l'intensité du courant nécessaire pour parvenir à une station désignée, soit fournie sans tâtonnement par la pile ;

2° Que le télégraphiste sache immédiatement si tous les appareils silencieux intermédiaires ont fonctionné, ou si le courant s'établit au delà du point voulu ;

3° Que l'attraction des armatures *m m'*, subsiste pendant les nombreuses et courtes intermittences des courants parcourant les lignes télégraphiques, et que l'employé sache incessamment si cette condition est remplie ;

4° Que les appareils silencieux permettent l'échange de demandes et de réponses en nombre quelconque entre les postes qui communiquent, de sorte que celui où la dépêche arrive puisse à chaque instant la couper en faisant connaître qu'elle est ou n'est pas comprise ;

5° Enfin, que les armatures retournent instantanément à leur position primitive dès que la communication directe n'est plus utile.

Le premier de ces problèmes a été résolu au moyen d'un appareil appelé *régulateur* de pile, qui permet à un conjoncteur d'introduire, par une simple manœuvre, le nombre d'éléments nécessaires pour le fonctionnement (en communication directe) des appareils de telle ou telle station.

Ce régulateur se compose d'un disque épais de matière isolante, sur le pourtour duquel sont fixées autant de plaques métalliques qu'il y a de stations échelonnées sur la ligne. Chaque plaque porte gravé le nom de la station à

laquelle elle correspond. Un conjoncteur à ressort, analogue à celui que nous avons représenté fig. 8, pl. III, 1er vol., est placé au centre de ce disque, et communique avec la ligne par l'intermédiaire de la clef du télégraphe et d'un appareil dont nous parlerons. Enfin, les plaques elles-mêmes communiquent par des fils avec la pile, de façon à isoler sur cette pile tels et tels nombres d'éléments qui ont été jugés nécessaires pour vaincre la résistance des circuits correspondant aux diverses stations qu'elles désignent.

Pour faire usage de ce régulateur, il suffit de porter le conjoncteur sur la plaque correspondante à la station à laquelle on veut parler, et aussitôt le nombre d'éléments de piles voulu pour réagir sur les appareils de cette station est introduit dans le circuit.

L'appareil interposé dans le circuit de la ligne, près du régulateur dont nous venons de parler, est une espèce d'appareil contrôleur que M. Wartmann a appelé *indicateur*, et qui indique si la station avec laquelle on veut s'entretenir a été réellement atteinte. C'est un électro-aimant droit vertical M, fig. 16, pl. III, dont les rondelles sont en fer et vissées aux deux extrémités du noyau de fer qui le constitue. Tout autour de ces rondelles sont disposées des tiges verticales de fer *a a* en nombre égal à celui des stations et servant d'armatures à cette espèce d'électro-aimant circulaire. Ces tiges sont articulées autour d'un bourrelet de cuivre *p p*, et sont maintenues éloignées des rondelles par des ressorts à boudin *r* dont on peut régler à volonté la tension. Cette tension doit être différente pour ces diverses armatures, et réglée de manière à correspondre aux différentes intensités de courant nécessaires pour faire fonctionner les appareils des stations. Pour qu'on ne puisse pas les confondre, une fois les ressorts réglés, elles portent chacune la désignation de la station qu'elles représentent.

Il est facile maintenant de comprendre le jeu de cet

appareil : supposons-nous, en effet à la station A et admettons que nous voulions parler à la station B; nous placerons le conjoncteur du régulateur sur la plaque B, et alors un courant de médiocre intensité traversera la ligne. S'il est de force convenable, l'armature B de l'indicateur sera attirée, et alors on sera à peu près sûr que les appareils de la station B pourront fonctionner. S'il est trop faible, cette armature B de l'indicateur ne sera pas attirée, et s'il est trop fort deux armatures au lieu d'une seront mises en mouvement. Il faudra donc, dans ces deux derniers cas, renforcer ou affaiblir le courant transmis.

Nous voulons actuellement parler à la station C : nous reporterons le conjoncteur sur la plaque C du régulateur, et un courant plus intense que la première fois sillonnera de nouveau la ligne. Cette fois les deux armatures B et C devront être attirées à la fois; mais l'attraction de l'armature C ne devra être que passagère, car aussitôt après que l'appareil silencieux aura fonctionné à la station B, le courant ayant à vaincre une plus grande résistance s'affaiblira et reviendra à l'intensité en rapport avec celle qui a fait dévier l'armature B. Cependant, par ce simple mouvement, on a pu s'assurer si l'appareil silencieux de B a fonctionné.

On comprend d'après cela que s'il s'agit de mettre en relation la première station A avec la dernière I, toutes les armatures de l'indicateur devront être attirées simultanément pour revenir successivement en arrière dans un ordre inverse à mesure que les appareils silencieux auront fonctionné. C'est quand le retrait total (sauf celui de l'armature B) a été accompli, qu'on peut interrompre le passage du courant à travers cet indicateur pour commencer l'expédition de la dépêche par l'appel de la station I.

Les troisième et quatrième conditions sont remplies par la persistance du magnétisme rémanant dans les électro-

aimants des appareils silencieux. Si le ressort *o* n'a pas une tension trop forte, le contact de l'armature persiste pendant un temps d'autant plus long qu'à l'action du magnétisme rémanent se joint la réaction de l'aimant sur le fer.

Enfin, la rupture de la communication directe établie par les appareils silencieux, s'obtient en lançant dans le circuit général un courant inverse de courte durée. Le renversement des pôles qui en résulte dans les électro-aimants de ces appareils, fait détacher les armatures qu'une répulsion immédiate ramène contre les butoirs d'arrêt *p*.

L'usage des appareils silencieux nécessite, dans chaque poste expéditionnaire, la présence d'une pile à éléments d'autant plus nombreux que les distances à franchir sont plus considérables; mais on peut néanmoins diminuer considérablement le nombre de ces éléments en exigeant de l'appareil silencieux de chaque poste à traverser, qu'il introduise dans le circuit de la ligne quelques-uns des éléments de sa pile locale. Supposons que pour télégraphier de

A en B, il faille.....	10 couples.
B en C.....	12 —
C en D.....	9, etc.

Dès lors, pour télégraphier de

A en C, il faudrait.....	22 couples.
A en D.....	31 —
B en D.....	21, etc.

Or, en établissant la communication directe de A à D, on supprime temporairement la possibilité d'une transmission entre les stations intermédiaires. Les piles locales de B et de C, qui servent à manœuvrer les télégraphes, deviennent donc disponibles. Prenons en A 12 couples par exemple, au lieu de 10, et nous faisons fonctionner l'appareil silencieux de B; si ce dernier met dans le circuit un nombre

d'éléments de la pile locale qui équivale à 10 couples de la pile de la station A, nous aurons les 22 couples nécessaires pour atteindre C. Prenons en A 14 couples, l'appareil silencieux de B joue en nous en fournissant 10; dès lors celui de C fonctionne aussi, et s'il ajoute à la force qui le fait agir un courant, emprunté à sa pile locale équivalent à celui de 7 couples de la pile de ligne de A, nous atteindrons efficacement la station D. Ainsi, 14 éléments employés dans le poste expéditionnaire produiront un effet qui en aurait nécessité 31, sans ce nouveau service de l'appareil silencieux.

Ce résultat s'obtient par l'addition d'un seul ressort *h'*, fig. 17, pl. III, qu'un bouton d'ivoire porté par l'extrémité *m'* de l'armature arrache au contact d'une vis *i'* mobile dans un écrou fixe *k'*. Cette vis communique métalliquement avec la vis *i*, et par elle avec la plaque *l*. L'un des pôles de la pile locale QQ' (entière ou réduite suivant sa puissance) est lié au bouton à vis *v* qui est en relation avec le coussinet sur lequel pivote l'axe *n* de l'armature *m m'*. L'autre pôle communique avec l'extrémité du ressort *h'*, qui lui-même communique à l'électro-aimant *y'*. Ces pôles sont disposés de manière à renforcer le courant de la pile de ligne qui s'établit à travers la pile locale QQ' lorsque le circuit de cette dernière (ouvert jusqu'à ce moment, sauf quand le relais est en jeu) est fermé par l'attraction de l'armature.

Dans un travail très-intéressant, que M. Wartmann a publié dans la *Bibliothèque de Genève*, du mois de mai 1853, ce savant décrit plusieurs dispositions différentes qu'il a données aux appareils que nous venons de décrire, et même aux clefs du télégraphe Morse, pour qu'elles puissent réagir de manière à couper la communication directe par une inversion de courant. Nous ne décrirons pas toutes ces dispositions, car elles peuvent se deviner aisément.

M. Wartmann décrit encore la disposition qu'il faut donner au régulateur de la pile, quand une station intermédiaire est assez importante pour devenir poste expéditionnaire ; ce qui la met dans la nécessité de correspondre dans deux directions différentes. Comme en raison de l'aimantation permanente des armatures des appareils silencieux, le courant doit toujours avoir une même direction, le régulateur de pile doit être double, ou disposé de manière qu'un commutateur distribue convenablement le courant quand le conjoncteur est porté sur l'une ou l'autre des plaques en rapport avec la pile.

Système de M. Breguet. — Lorsqu'une station extrême ne doit correspondre qu'avec deux stations, une station intermédiaire et l'autre station extrême, les appareils silencieux peuvent être considérablement simplifiés, et consister simplement dans un relais à double fonction. Avec un relais de cette nature, en effet, on peut faire en sorte que toutes les fermetures de courant, opérées dans un sens à la station expéditionnaire, réagissent sur l'appareil de la station intermédiaire, et que toutes les fermetures faites en sens inverse réagissent sur le circuit de la station extrême à laquelle on veut parler, et cela en introduisant la pile de ligne de la station intermédiaire dans le circuit de la station extrême. Avec ce système, on peut encore appeler les stations intermédiaires au moyen d'une alarme, lorsque, après avoir demandé à ces stations la communication directe par les moyens ordinaires, on veut leur dire de rétablir la communication avec la terre. Sans ce moyen, toute relation avec les stations intermédiaires serait impossible, jusqu'à ce que le temps demandé pour la communication directe fût passé. Or, comme il est très-difficile de pouvoir apprécier exactement d'avance ce temps, on comprend de quelle utilité peut être pour le service télégraphique ce système d'appel silencieux.

Les appareils que M. Breguet a construits dans ce but, consistaient dans une palette aimantée suspendue verticalement entre deux électro-aimants. Cette palette portait un levier muni d'une lame de ressort ou d'un marteau, suivant que l'appareil devait réagir comme relais silencieux ou appel silencieux, et à portée de ce levier étaient placées, de deux côtés opposés, deux vis en rapport l'une avec la pile locale et le télégraphe de la station, l'autre avec la pile de ligne de cette même station et le circuit en rapport avec la station extrême; l'armature elle-même communiquait avec le sol. Alors, suivant que cette armature était inclinée d'un côté ou de l'autre, la dépêche était renvoyée à la station intermédiaire ou à la station extrême; ou bien, si l'appareil devait servir de rappel, c'était un timbre qui était placé de côté à portée du marteau, et qui retentissait quand le courant passait à travers le système d'électro-aimants, dans un sens différent de ses fermetures normales.

Autres systèmes. — Plusieurs autres constructeurs et savants, entre autres MM. Dering et Mouilleron, ont cherché à résoudre par de nouveaux moyens le problème que s'est posé M. Wartmann; mais leurs systèmes ne me sont pas assez connus pour que je puisse en parler.

Conjoncteurs pour la communication directe. — Lorsqu'on n'emploie pas de dispositions électro-mécaniques pour établir automatiquement la communication directe, on se sert de commutateurs particuliers qui ont été disposés de bien des manières différentes. Celui qui a donné jusqu'à présent les meilleurs résultats est celui de M. Nottebohm, que nous avons représenté fig. 18, pl. III. Il se compose d'un support de bois sur lequel des plaques métalliques conductrices *u*, D, S sont isolées les unes des autres; des fiches de cuivre se placent en *u*, en S ou en D, et alors le courant prend le chemin *u* D ou *u* S. Cette plaque de bois est fixée sur la table à côté du télégraphe, et, en multi-

pliant les conducteurs, on peut faire prendre plusieurs directions au courant. L'emploi des fiches de cuivre entre des plaques de même métal facilite beaucoup la manœuvre des télégraphes.

PARAFOUDRES

Si l'électricité atmosphérique réagit d'une manière continue sur les lignes télégraphiques en créant des courants accidentels qui paralysent, comme nous l'avons vu, l'action du courant voltaïque, on comprend aisément que ces lignes sont particulièrement exposées à être foudroyées; alors les appareils se trouvent fondus ou tout au moins désorganisés, et les employés courent de grands dangers. Plusieurs accidents de ce genre ont déjà eu lieu; on a donc dû se préoccuper de la question de préserver autant que possible les lignes de ces effets désastreux, et les appareils disposés dans ce but ont été appelés *parafoudres*.

Comme les paratonnerres, les parafoudres ne peuvent avoir d'effet que comme dérivatifs des réactions de l'électricité atmosphérique. En conséquence, le problème à résoudre dans ces appareils était d'ouvrir en dehors de la ligne télégraphique une voie électrique assez directe et assez facile pour être suivie de préférence par l'électricité de tension, mais cependant assez résistante pour ne pas occasionner une déperdition du courant appelé à réagir sur les appareils télégraphiques.

Parafoudre de M. Walker. — En Angleterre et en Sardaigne, les parafoudres consistent d'abord dans une série de petits paratonnerres qui surmontent chacun des poteaux souteneurs du fil de ligne et qui sont en communication directe avec le sol; en second lieu, dans un petit appareil interposé dans le circuit de la ligne avant chaque station et sur lequel réagit la foudre avant qu'elle n'atteigne les appareils.

Cet appareil, imaginé par M. Walker, est disposé de la manière suivante :

Un cylindre creux de cuivre mis en communication directe avec le sol est fermé à ses deux extrémités par deux disques de bois, surmontés chacun d'un disque de cuivre. L'un de ces disques est en rapport avec le fil de la ligne, et se trouve armé de pointes disposées circulairement en face du bord du cylindre qui lui correspond. L'autre disque est en rapport avec l'appareil télégraphique, et se trouve à portée de pointes métalliques dont le cylindre se trouve armé à son tour de ce côté. De plus, ces deux disques sont en communication directe par une tige transversale qui les unit à l'intérieur du cylindre. Cette tige porte deux autres disques armés de pointes, et ces pointes font face à la surface interne du cylindre. Un peu au-dessous de ces disques hérissés de pointes, et toujours à l'intérieur du cylindre, est une bobine de bois sur laquelle est enroulé un fil très-fin (beaucoup plus fin que celui des appareils). Ce fil établit une relation entre le fil de la ligne et un autre fil se terminant aussi près du sol qu'il est possible, plus près de fait qu'aucune partie métallique de l'appareil télégraphique.

Avec cette disposition, l'électricité de tension conduite dans l'appareil peut réagir par les pointes sur le cylindre enveloppe et provoquer de la part de la terre une neutralisation qui, si elle n'est pas suffisante, se trouve complétée par la fusion du fil fin entourant la bobine de bois.

Parafoudre de M. Steinheil. — Dans le système de M. Steinheil, les deux pignons de la cabane qui sert de poste télégraphique sont munis de deux conducteurs en pointe, communiquant avec le sol par un fil conducteur, et c'est sur le haut du toit que se trouve installé le parafoudre. Celui-ci consiste dans deux plaques de cuivre carrées d'environ six pouces de côté. Le fil conducteur est brisé et se rattache de chaque côté normalement aux deux plaques. Ces plaques,

posées sur une base isolante de faïence ou de porcelaine, sont séparées l'une de l'autre par plusieurs plis d'étoffe de soie. Une cloche les défend de la pluie. Deux fils assez fins, soudés aux plaques, conduisent le courant à l'appareil télégraphique. Ce courant a toujours trop peu de tension pour vaincre l'isolement des plaques et passer d'une plaque à l'autre directement; il viendra donc par un fil aux appareils et retournera par l'autre au fil conducteur. L'électricité atmosphérique, au contraire, ne trouvera pas assez d'issue par ces fils fins et sautera directement d'une plaque à l'autre. Les appareils et les employés seront donc à l'abri de tout danger. En effet, dans les lieux où cette disposition a été prise, on n'a jamais vu, même pendant les plus grands orages et les coups de tonnerre les plus effrayants, ni étincelles, ni bruit se produire dans les fils qui mettent en jeu les indicateurs.

Parafoudre de M. Fardely. — Le système de M. Fardely consiste à interrompre au dernier poteau, distant du cabinet de quatre à cinq mètres, le fil conducteur, et à faire entrer l'appareil télégraphique dans un circuit formé par des fils de cuivre très-fins soudés au fil conducteur principal des deux côtés du poteau. Toute forte décharge d'électricité atmosphérique sautera d'un bout du gros fil à l'autre, ou, dans le cas le plus défavorable, fondra les petits fils de cuivre qui communiquent directement aux appareils, de sorte que ceux-ci seront toujours épargnés : on peut d'ailleurs, au moyen d'un interrupteur, couper le circuit quand l'orage apparaît.

Parafoudre de M. Meismer. — L'appareil employé par M. Meismer sur la ligne du grand-duché de Brunswick est à peu près le même, sauf quelques détails de construction, que celui de M. Steinheil; seulement, au lieu d'être placé sur le haut du toit du poste télégraphique, il se trouve dans le cabinet lui-même, et le fil de ligne avant d'y arriver

passe dans des tuyaux de fer enfouis en terre et traversant la muraille.

Parafoudre des télégraphes français. — Ce parafoudre n'est qu'une combinaison du parafoudre de M. Walker avec celui de M. Steinheil. Il consiste dans une petite planche verticale XY, fig. 19, pl. III, sur laquelle sont adaptés : 1° un commutateur K à triple ressort et à 5 contacts; 2° un déchargeur dentelé CD et un système particulier de communication métallique AB. Ce système de communication métallique, qui peut relier les appareils télégraphiques au fil de la ligne, est constitué par un fil de fer très-fin réunissant les deux boutons métalliques A et B, et renfermé à l'intérieur d'un tube de verre ou d'une boîte de cuivre isolée.

Ces deux boutons A et B sont en rapport avec les gouttes de suif *a* et *b* du commutateur. Mais le fil qui réunit le bouton B à la goutte *b* est en contact avec la plaque dentelée C. L'autre plaque dentelée D communique à la fois avec la goutte *c* du commutateur et avec le sol par la borne T. La goutte *d* de ce même commutateur correspond à la borne M où est attaché le fil conduisant aux appareils télégraphiques. Enfin, la borne L, où vient aboutir le fil de la ligne, est reliée à l'axe de la bascule K du commutateur.

Cette bascule a aussi une disposition particulière : son noyau est disposé de manière que le ressort du milieu soit en rapport métallique avec la douille sur laquelle il tourne, et les deux autres ressorts fixés sur un même anneau métallique sont isolés de cette douille par un petit cylindre d'ivoire. Voici maintenant ce qui arrive quand on fait prendre successivement à cette bascule les trois positions correspondantes aux plaques gravées *i j k*.

Quand le manche du commutateur est placé au-dessus de la plaque *k* sur laquelle est gravé le mot : *avec pa-*

ratonnerre. Le déchargeur et le fil fin AB sont interposés dans le circuit de la ligne. En effet, le courant va de L en K, de K en *b*, de *b* en C, de C en B, de B en A, de A en *a*, de *a* en *d* et de *d* en M. Alors si la foudre pénètre à travers l'appareil, elle fond le fil de fer AB et s'écoule dans le sol par les pointes du déchargeur.

Quand la bascule du commutateur correspond à la plaque *j* sur laquelle est gravé le mot : *terre*, le fil de la ligne est mis directement en rapport avec la terre, car le courant qui serait envoyé irait alors de L en K, de K en *ac*, et de *c* en T. Alors la foudre ne peut pénétrer jusqu'aux appareils.

Enfin, quand le commutateur est tout à fait tourné vers la gauche et qu'il correspond à la plaque *i*, sur laquelle est gravé le mot : *sans paratonnerre*, la communication est directe entre les appareils et le fil de la ligne, et le paratonnerre est exclu du circuit. En effet, le courant va dans ce cas de L en K, de K en *d* et de *d* en M. Les appareils fonctionnent donc comme s'il n'y avait pas de paratonnerre à la station. Voici maintenant comment on use de cet instrument :

Lorsque d'après l'état du ciel, on n'a pas à craindre d'orage pendant tout le temps que durera l'échange des correspondances télégraphiques, on tournera le commutateur sur la plaque *i*; mais si un orage menace ou est annoncé par le télégraphe, immédiatement l'employé doit tourner le commutateur sur la plaque *k*, ce qui, comme nous l'avons vu, n'empêche pas de faire fonctionner les appareils. Dans tous les cas, le commutateur doit être placé sur la plaque *j* aussitôt que la correspondance est terminée, et surtout le soir avant que l'employé aille se coucher.

Parafoudre de M. Masson.— M. Masson a proposé d'utiliser pour la construction des parafoudres, ce fait observé

par lui que l'alcool est assez peu conducteur pour isoler convenablement un circuit voltaïque, d'une conductibilité suffisante mais pour laisser passer l'électricité de tension. L'appareil se composerait alors d'un vase de verre rempli d'alcool à 40° renversé sur un soc et mastiqué de façon à éviter la sortie du liquide. Le conducteur de la ligne télégraphique passerait dans l'alcool, et dans son trajet, au milieu du liquide, serait constitué par une lame de cuivre dentelée. Une autre plaque, également dentelée, encadrerait la première sans pourtant y toucher en aucune façon, et comme elle serait en communication avec le sol, elle servirait à décharger l'autre quand une charge considérable d'électricité s'y trouverait accumulée.

Parafoudre de M. Bianchi. — Ce parafoudre consiste en une sphère de métal traversée par le fil télégraphique et maintenue au centre d'une autre sphère de verre formée par deux hémisphères réunis par un large anneau de cuivre. Cet anneau est armé intérieurement de pointes peu distantes se dirigeant vers le centre de la sphère métallique jusqu'à une petite distance de sa surface; les deux hémisphères sont terminés par des poulies dans lesquelles le fil conducteur passe et qui sont mastiquées. La partie inférieure de l'anneau de cuivre est munie d'un robinet métallique qui permet de faire le vide dans l'appareil et de l'y conserver, si on le juge nécessaire. Ce robinet porte un pas de vis qui doit recevoir la tige métallique destinée à mettre l'armamature métallique en communication directe avec le sol en isolant complétement le fil du circuit fermé par la pile et la sphère qui en fait partie. Avec cet appareil, on conçoit que toute l'électricité atmosphérique qui se porte sur le fil conducteur, et qui serait communiquée à l'appareil télégraphique, est transmise au sol par l'intermédiaire des pointes dont est armé l'anneau qui est en communication directe avec lui. La figure 20, pl. III, représente cet appareil.

DISPOSITIONS DES POSTES TÉLÉGRAPHIQUES.

La disposition des postes télégraphiques est différente suivant le système de télégraphes qu'on emploie, suivant que les stations sont têtes de lignes ou intermédiaires, suivant que les appareils doivent marcher avec relais, translateurs, appareils silencieux, relais à double transmission de dépêches, etc. Vouloir décrire toutes ces dispositions, serait chose impossible et fastidieuse. D'ailleurs, elles se devinent aisément dès lors qu'on s'est bien pénétré des fonctions des appareils qui doivent être installés. Cependant, nous croyons utile de donner ici quelques renseignements sur la disposition des postes généralement établis en France, soit avec le système Morse, soit avec le système des télégraphes à signaux Chappe, soit enfin avec le système de télégraphe à cadran des chemins de fer.

Parlons d'abord des commutateurs employés dans la télégraphie électrique, car ils jouent un rôle important dans la disposition des postes télégraphiques.

Commutateurs. — Les commutateurs généralement employés en France se composent ordinairement d'une lame de ressort recourbée fixée à l'extrémité d'un manche et articulée solidement sur un pivot, de manière à pouvoir être facilement tournée d'un côté ou de l'autre et à pouvoir s'appliquer sur des plaques métalliques incrustées sur une planche qui sert de support à l'appareil. C'est, en un mot, un appareil analogue au commutateur du parafoudre que nous avons décrit précédemment.

Ces commutateurs peuvent être simples ou complexes à un contact ou à plusieurs contacts. Il en est même comme celui que nous avons représenté fig. 21, pl. III, qui portent un parafoudre. Ce commutateur, appelé par M. Breguet *commutateur complexe*, est formé d'une plaque en métal

sur laquelle sont fixées deux petites planchettes portant les pièces suivantes :

L L′ boutons où viennent s'insérer les fils de la ligne et fixés sur une plaque de cuivre dentelée.

T plaque de métal, aussi dentelée, en communication avec la terre.

P P′ boutons traversés par des cylindres *c c′* ; ces cylindres, appuyés sur des supports *t t′*, communiquent aux plaques L, L′.

A A′ axes sur lesquels pivotent les manivelles M M′ avec leur ressort conjoncteur R R′. Ces manivelles, en tournant autour de leur axe, peuvent porter les ressorts R R′ sur les contacts en cuivre 1, 2, 3, 4 et 5.

T′ autre plaque communiquant à la terre et sur laquelle les deux ressorts R, R′ peuvent s'appuyer.

Les contacts 4 communiquent par un fil encastré sur la planchette avec les contacts 3, ce qui permet de réunir les deux fils; ainsi, quand on porte le ressort R′ sur 4 et le ressort R sur 3, les deux fils L L′ communiquent ensemble au contact 3; c'est ce que l'on fait quand les fils sont mêlés sur la ligne[1]; ils communiquent ainsi à un seul côté du récepteur, et on fait les signaux avec un seul indicateur en les décomposant.

Dans l'état normal, les ressorts R R′ sont placés sur 2, 2 d'où partent les fils qui vont chacun aboutir à l'un des côtés du récepteur.

Les contacts 1, 1 vont à la boussole et les contacts 5, 5 à un second commutateur complexe, quand la station est intermédiaire, afin d'établir la communication directe.

Les dentelures faites aux pièces L L′ et T remplissent les fonctions du parafoudre.

1. Ce commutateur n'est employé que pour les télégraphes à deux aiguilles.

Ce système de commutateur à ressorts, qu'on appelle vulgairement des *manettes*, peut s'appliquer, comme nous l'avons vu, à des régulateurs de pile, instruments qui doivent toujours exister dans un poste télégraphique bien organisé.

Quelquefois, deux ou trois manettes sont reliées ensemble par une tige de jonction pour opérer des interversions simultanées.

Les commutateurs suisses sont, à ce qu'il paraît, plus sûrs que les précédents et d'un usage plus varié.

Ce sont des cubes de bois dont la surface supérieure est coupée par un nombre indéterminé de lamettes de cuivre, ainsi que la surface inférieure; seulement ces lamettes, qui sont en nombre égal, sont dirigées dans un sens différent sur les deux surfaces.

Le cube se trouve traversé dans le sens vertical d'autant de trous qu'il en faut pour permettre, moyennant une clavette métallique, d'établir une communication des lamettes supérieures avec chacune des lamettes inférieures. Ces clavettes sont fendues à leur extrémité, et les deux parties faisant ressort établissent les meilleurs et les plus infaillibles contacts.

M. Liais a organisé dans ce système, pour l'Observatoire de Paris, un régulateur de pile vraiment très-ingénieux et fort commode, surtout quant à opérer sur un grand nombre de circuits avec une pile d'un très-grand nombre d'éléments dont il faut faire varier souvent la force. Ce régulateur est disposé pour 20 circuits; mais pour éviter les complications dans les figures 1 et 2, pl. IV, qui le représentent, nous ne l'avons établi que pour 8 circuits.

Sur les deux côtés de la porte en chêne d'une armoire sont appliquées d'un côté (côté A) huit séries de lames de cuivre parallèles disposées comme on le voit, fig. 1, pl. IV; de l'autre côté (côté B), 3 séries seulement. (Voir fig. 2.)

Les séries A et E, fig. 1, correspondent à tous les pôles négatifs des piles partielles (de plusieurs éléments chacune) qui composent la pile générale. Les lames de la série A se recourbent à angle droit pour constituer la série G, et la série F est formée des lames de la série E repliées en sens opposé de celles de la série A par un motif que nous expliquerons plus tard.

Les lames des séries B et D appartiennent aux fils de lignes; celles de la série B se replient pour former la série C, et traversent la porte pour déterminer par derrière une série particulière, tandis que celles de la série D traversent immédiatement cette même porte pour reparaître à droite de la série G et constituer en se repliant la série H.

Les lames de la série I correspondent aux pôles positifs des piles partielles, et traversent la porte pour former du côté opposé une grande série M, fig. 2. La lame T correspond à la communication avec la terre.

Du côté B de la porte, la série M est formée par tous les fils positifs des piles, et les séries N et O se composent de tous les fils de la ligne. C'est de ce côté qu'on fait les combinaisons, et cela au moyen de fiches comme dans les interrupteurs suisses.

Comme toutes ces séries sont appliquées les unes sur les autres, il en résulte que toutes les lames dont nous avons parlé se croisent à angle droit, et c'est à leur point d'intersection que sont pratiqués les trous que l'on distingue sur les deux figures.

Pour plus de facilité dans le maniement de cet appareil, les numéros d'ordre correspondant aux numéros des piles partielles, sont marqués sur deux des côtés de la série M, savoir : de *a* en *b* et de *c* en *d;* tous les chiffres horizontaux de *a* en *b* correspondent aux lames négatives, tandis que les chiffres verticaux de *c* en *d* désignent les lames en rapport avec les pôles positifs. Les deux séries N et O qui se con-

tinuent en P et en Q derrière la planche portent également des numéros, comme on le voit sur la figure, et ces numéros désignent les numéros d'ordre des fils des circuits sur lesquels on a à opérer.

Avec cette disposition du régulateur, on va voir que rien n'est plus facile que d'effectuer toutes les combinaisons imaginables soit de piles, soit de fils. En effet, supposons que l'on veuille réunir en tension les piles nos 8, 6, 5 et 4, ce qui fournira un total de 20 éléments, et que l'on doive faire agir cette pile ainsi composée sur un circuit constitué par les fils 8 et 3, de manière que le pôle positif soit en rapport avec le fil n° 3, on commencera par faire communiquer le fil n° 3 avec le pôle positif de la pile n° 8. Pour cela, nous chercherons d'abord, dans les colonnes de trous correspondantes au fil n° 3, celui de ces trous qui appartient à la lame positive de la pile n° 8, laquelle lame nous est indiquée par les chiffres de la colonne *c d*; nous voyons que c'est précisément le trou *e*. Nous mettons dans ce trou une fiche, et nous avons ainsi une première communication établie avec le circuit. Il s'agit maintenant de réunir ensemble les quatre piles. Pour cela, nous réunirons d'abord le pôle négatif de la pile n° 8 au pôle positif de la pile n° 6; le trou correspondant à cette liaison s'obtiendra immédiatement en cherchant dans la colonne *c d* la lame n° 6, et en voyant en quel point la colonne de trous correspondant au chiffre 8 (suivant la ligne *a b*) coupe la lame n° 6; nous voyons que c'est le trou *f*. Nous mettons de nouveau une fiche dans ce trou, et nous avons ainsi une nouvelle liaison. En répétant la même opération pour la réunion du pôle négatif de la pile n° 6 avec le pôle positif de la pile n° 5, et du pôle négatif de cette dernière pile avec le pôle positif de la pile n° 4, nous arrivons successivement à mettre des fiches dans les trous *g* et *h*, et nous avons ainsi notre pile composée. Il ne reste plus que le pôle négatif de cette

pile à mettre en communication avec le fil n° 8, ce qui sera facile puisqu'il suffira de chercher dans celles des deux séries O et N en rapport avec les lames négatives le trou correspondant à la colonne verticale du n° 4 (de *b* en *a*) et à la colonne horizontale numérotée 8. Nous voyons que c'est le trou *i*, et le problème se trouve résolu.

Supposons maintenant qu'on veuille réunir les piles n°s 5, 7, 2, 1, en quantité, et qu'on veuille faire agir cette pile sur un circuit complété par la terre, la plaque terrestre devant être positive et passant à travers le fil n° 4.

On commencera par réunir tous les pôles positifs ensemble, et on les fera communiquer à la terre, puis on rassemblera les pôles négatifs que l'on joindra au fil n° 4. Pour cela, il faudra avoir recours à des fiches particulières qui seront plus courtes que les autres et réunies ensemble par un conducteur extensible. On placera quatre de ces fiches dans les trous *k*, *l*, *o*, *p*, et une cinquième dans le trou *j* qui correspond à la colonne de terre T; et après en avoir fait autant de l'autre côté du commutateur à l'égard des pôles négatifs, on fait aboutir la série au trou *q* correspondant au fil n° 4. Comme on le voit, ce système de régulateur est excessivement commode et ne prend aucune place, puisqu'il peut servir de porte à l'armoire où sont placées les différentes piles partielles. Ces piles, d'ailleurs, peuvent avoir un nombre variable d'éléments, afin de permettre par leurs combinaisons la formation d'une pile totale d'un nombre d'éléments déterminé. Ainsi, on pourra former une pile de 35 éléments, en réunissant ensemble 8 piles ayant l'une 5 éléments, une autre 6, une autre 5, une autre 3, une autre 2, une autre 4, une autre 6, et une autre 4.

Disposition d'un poste pour les télégraphes français à double aiguille. — Nous avons déjà parlé de la disposition d'un poste dans le système Morse. Cette disposition étant

la plus simple de toutes celles qui ont été proposées, nous ne reviendrons pas sur ce genre de disposition ; nous allons nous occuper de celle des postes télégraphiques anciennement établis et qui n'ont pas encore les appareils Morse.

La fig. 22, pl. III, représente la disposition actuelle d'un poste télégraphique français pour les télégraphes à double aiguille.

AB est une grande planche d'acajou horizontale sur laquelle sont fixés le récepteur, les manipulateurs et les commutateurs simples, à l'aide desquels on opère les communications convenables pour les expériences qui doivent se faire journellement.

CD est une autre planche d'acajou fixée perpendiculairement à la précédente et supposée rabattue sur notre dessin. Elle porte le *commutateur complexe* servant en même temps de parafoudre, que nous avons décrit précédemment.

E est la boussole des sinus, qui peut être placée en tel endroit qu'il convient. On ne l'a pas fixée sur la planche AB, à cause de la réaction qu'exerce sur elle le magnétisme terrestre, et qui oblige de lui donner une position particulière.

H et I sont des commutateurs simples auxquels on a donné le nom de *commutateurs des déviations*, et qui sont analogues à ceux que nous avons déjà décrits, sauf que leurs contacts sont constitués par les bandes de cuivre elles-mêmes qui servent aux communications électriques et qui sont incrustées dans la planche.

F compose, avec les bandes de cuivre Z Z′ Z″, etc., en rapport avec les pôles positifs de plusieurs piles partielles, le *régulateur de la pile* qui, du reste, est tout à fait analogue à celui de M. Wartmann.

La plaque T, placée derrière la planche C D et à laquelle aboutissent trois lignes ponctuées, correspond avec la plaque de terre.

R est le récepteur.

U U′ les manipulateurs.

S le commutateur complexe.

Enfin *aa′* les deux fils de la ligne.

Toutes les liaisons électriques entre ces divers appareils sont faites avec des bandes de cuivre disposées comme on le voit sur la figure.

Au moyen de cette organisation, on peut non-seulement recevoir et transmettre des dépêches, mais encore mesurer les intensités du courant :

1° Reçu ou envoyé par le fil supérieur;

2° Reçu ou envoyé par le fil inférieur;

3° Provenant des dérivations du fil supérieur au fil inférieur, et réciproquement;

4° Provenant des dérivations de chacun des fils à la terre.

Ces opérations étant faites par chacun des deux postes correspondants, on obtient 16 nombres, 8 dans chaque poste, qui, par leur comparaison, donnent une idée de l'état d'isolement de la ligne. Cela s'appelle *prendre les déviations*. Voici les dispositions et la manière d'opérer.

Le commutateur H relié à la boussole permet de mettre successivement en rapport avec elle les fils de la ligne, quand le commutateur complexe, qui se trouve interposé entre les lames *b*, *b′* et les points d'attache des fils de ligne, se trouve disposé en conséquence.

Le commutateur I permet de faire passer à volonté à travers la boussole le courant transmis et le courant reçu.

Pour obtenir l'intensité du courant transmis à travers le fil supérieur de la ligne, on place la bascule du commutateur I sur la lame *c*, la bascule du commutateur H sur la lame *b*, enfin le ressort de gauche du commutateur complexe sur cette même lame *b*. Le courant va alors de F en *c*, de *c* en I, de I en E, de E en H, de H en *b*, de *b* en S, de S en *a*, de *a* à la plaque de terre de la seconde station,

ce que l'on obtient en plaçant le ressort de gauche du commutateur complexe de cette station sur la plaque de terre T. (Voir fig. 21.)

Pour obtenir l'intensité du même courant traversant le fil inférieur de la ligne, il suffit de rapporter la bascule du commutateur H sur la bande *b'* et la bascule de droite du commutateur complexe sur la bande *b'*.

Si on répète les mêmes manœuvres du commutateur H lorsque la bascule du commutateur I est placée sur la plaque *c'*, on obtient l'intensité du courant envoyé par la station avec laquelle on doit correspondre.

Pour mesurer la somme des dérivations du fil supérieur au fil inférieur, le poste correspondant coupera les deux fils sur son commutateur complexe, et on ramènera à la station qui expérimente le fil supérieur seulement en communication avec l'appareil télégraphique. On amènera la bascule de H sur le fil inférieur en *b'*, et la bascule de I sur le fil de terre en *c'*. Alors, il ne passera à travers la boussole que la somme des courants qui seront dérivés du fil supérieur au fil inférieur, et on pourra la mesurer. Cependant, si le fil inférieur présente quelques dérivations à la terre, on n'aura pas entièrement ce que lui transmet le fil supérieur. On obtiendrait de la même manière la somme des dérivations du fil inférieur au fil supérieur. Ce serait une simple permutation de fils à effectuer.

Pour avoir la somme des dérivations à la terre, les fils sont coupés sur le commutateur complexe dans les deux postes correspondants, et la bascule de I est amenée sur la pile en *c*. En amenant ensuite la bascule de H successivement sur *b* et sur *b'*, on obtient la perte de chaque fil.

Voici les conventions faites entre les deux postes correspondants A et B, pour obtenir la régularité des mouvements nécessaires à l'exactitude des déviations. Le poste A indique au poste B que l'on va prendre des déviations. Le

poste B accuse réception de cet avis et met immédiatement la ligne en communication avec la terre; il reste dans cette position pendant deux minutes, et A mesure les dérivations d'un fil sur l'autre, ainsi que les pertes par la terre. Pendant les deux minutes suivantes, A coupe la ligne et B fait de son côté les opérations que A vient de faire. A l'expiration des deux minutes, A envoie son courant successivement par les deux fils, et reste une minute sur chacun d'eux. B envoie ensuite le sien de la même manière et pendant le même temps.

Les déviations sont prises deux fois par jour, le matin et le soir. Le résultat est consigné sur un registre spécial qui mentionne en même temps l'état de l'atmosphère au moment des observations. Pour rendre les résultats tout à fait comparables, on emploie toujours un même nombre d'éléments. On se procure ainsi le contrôle quotidien de la conservation de l'isolement.

Les déviations, comme nous venons de les prendre, ne donnent ni les intensités du courant, ni les grandeurs des dérivations telles qu'elles existent lorsque la ligne fonctionne. Ainsi, la quantité du courant que nous avons reçue dans la boussole n'est pas celle qui serait passée par le fil de l'électro-aimant, si on l'avait laissée dans le circuit; la perte d'un fil pendant le travail est réellement la différence des intensités du courant envoyé et reçu par la ligne et le fil de l'électro-aimant du récepteur. Mais nous remarquerons que les déviations prises tous les jours ne peuvent pas avoir pour but de régler la force de la pile nécessaire à la marche des appareils; elles sont, pour l'inspecteur chargé de l'entretien de la ligne, un moyen de contrôler la conservation de l'isolement, et alors les indications sont plus faciles et plus claires lorsqu'on fait abstraction du fil des électro-aimants, dont la résistance est très-grande, et pour lequel l'isolement est indépendant des variations des temps. Or, il

est utile de connaître l'intensité du courant passant par la ligne et le fil de l'électro-aimant, lorsqu'on prend un récepteur nouveau et qu'on veut obtenir le degré de courant qui lui est nécessaire pour fonctionner; il en est de même lorsqu'il se produit une perte considérable sur la ligne, et qu'on ne veut pas dépasser le degré du récepteur en faisant augmenter la pile du correspondant.

Alors un commutateur supplémentaire devient nécessaire, et, pour qu'il puisse servir dans les deux cas, il doit être combiné à deux inverseurs de courant et être relié aux deux électro-aimants du récepteur. Comme cette disposition n'existe que pour un très-petit nombre de postes télégraphiques, nous la passerons sous silence; d'ailleurs elle se devine aisément.

La marche du courant à travers les récepteurs s'explique aisément à travers l'appareil représenté fig. 22. Quand les deux ressorts du commutateur complexe sont placés sur les lames *d*, *d'* les fils *a a'* sont en relation avec les deux électro-aimants du récepteur, et les courants qui les parcourent suivent les chemins suivants : 1° *d e e* U *g h r i c'* T; 2° *d' e' e'* U' *g' h' r' i'* T. Quand les manipulateurs fonctionnent, les courants envoyés suivent les directions suivantes : 1° F *k* U *e e d a*; 2° F *k'* U' *e' e' d' a'*. On peut intervertir l'ordre des fils; il suffit pour cela de placer les ressorts du commutateur complexe sur les plaques *4 4* (fig. 21).

Disposition d'un poste intermédiaire.— Une station intermédiaire suppose au moins deux stations correspondantes; elle doit donc avoir au moins deux postes, et, par conséquent, tout est double, à l'exception de la pile et de la communication terrestre. Mais, pour qu'il n'en résulte aucun inconvénient, il faut que la communication terrestre soit dans les conditions parfaites de conductibilité; car, sans cela, le courant venant de A pour B, ou partant de B pour A, se dérivera sur la ligne de C. Si donc B transmet des

signaux sur la ligne de A pendant qu'il en reçoit de la ligne de C, la dérivation sur la ligne de C du courant envoyé sur la ligne de A détruira une partie du courant qui vient de C, toutes les fois que A et C feront passer leur courant en même temps, et B recevra de C des signaux irréguliers.

Comme les stations intermédiaires doivent être dans la possibilité d'établir facilement la communication directe de la ligne quand on la leur demande, leur commutateur complexe doit avoir deux plaques spéciales pour cette fonction. Ces plaques sont figurées en *v*, *v'* sur la fig. 21 ; ces plaques sont réunies symétriquement d'un appareil à l'autre, de sorte que quand les ressorts des commutateurs complexes sont appuyés sur ces plaques, les fils de la ligne se trouvent réunis.

Comme on a pu en juger par la description que nous venons de faire des postes télégraphiques, c'est le commutateur complexe qui est la pièce principale. Par son intermédiaire, en effet, on peut :

1° Mettre les fils de ligne en rapport avec les récepteurs ou la boussole;

2° Couper le circuit de la ligne;

3° Établir la communication directe;

4° Établir la communication de la ligne avec le sol;

5° Intervertir l'ordre des fils par rapport au récepteur;

6° Réunir les deux fils sur la ligne en un seul.

Nous ne parlerons pas ici des calculs et des expériences à faire pour déterminer à quelle distance les deux fils de la ligne peuvent se trouver mêlés ou rompus, ou en communication avec le sol; ce sont des questions de manipulation et de pratique qui sont complétement en dehors du but que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage. Ces questions, d'ailleurs, ainsi que la manière de bien conduire les instruments télégraphiques, ont été longuement et clairement expliquées : 1° dans l'ouvrage de l'abbé Moigno,

page 409 et suivante; 2° dans l'ouvrage de M. Breguet, page 72 et suivantes; 3° dans le Vade-Mecum de télégraphie électrique de MM. Miège et Ungèrer, page 40, etc.; enfin dans tous les traités pratiques de télégraphie électrique.

Disposition d'un poste télégraphique de chemins de fer.— Les postes télégraphiques des chemins de fer sont de trois espèces : les postes extrêmes ou têtes de ligne, les postes intermédiaires, et les postes de croisement.

Les postes extrêmes exigent seulement les appareils suivants :

1° Un manipulateur;
2° Un récepteur;
3° Une sonnerie;
4° Une boussole.

Les postes intermédiaires doivent avoir :

1° Un manipulateur;
2° Un récepteur;
3° Deux sonneries;
4° Deux boussoles.

Enfin, pour les postes de croisement, il faut :

1° Un manipulateur à trois directions;
2° Un récepteur;
3° Trois sonneries;
4° Trois boussoles.

Quand il y aura plus de trois directions, il sera préférable d'avoir deux manipulateurs, parce qu'avec un seul il n'est pas possible de correspondre de deux côtés à la fois, ce qui ferait perdre beaucoup de temps, puisqu'on serait obligé de faire attendre un côté pendant qu'on parlerait avec l'autre, et même, dans un service très-actif, un employé ne pourrait suffire à l'exigence de la correspondance. Dans chacun de ces postes, une seule pile suffit, même quand l'on aurait à correspondre avec deux postes en même temps.

Dans l'organisation des télégraphes Breguet, tous les fils

nécessaires à la transmission du courant dans les différents appareils partent du manipulateur que nous avons décrit avec détail dans notre 2e volume, et représenté fig. 17, pl. I., 2e vol.

Quand ce manipulateur doit correspondre a deux directions, le fil de ligne correspondant à l'une de ces directions communique à l'une des manettes, après avoir traversé l'une des boussoles; l'autre fil de ligne correspond de la même manière à la deuxième boussole et à la deuxième manette. Quant aux communications avec la terre, la pile, le récepteur et les sonneries, nous avons déjà dit, page 50, 2e vol., comment elles sont établies.

Ainsi, nous savons que la borne *t*, fig. 17, pl. I, 2e vol., en communication avec la terre, correspond à la fois aux gouttes de suif T T′ auxquelles sont reliées les deux sonneries et le récepteur pour avoir leur communication avec le sol. Nous savons encore que les gouttes E, E′, qui sont reliées avec le support du cadran du manipulateur, servent à établir la communication entre la ligne et le récepteur par le manipulateur. Enfin, nous savons que ce récepteur et les deux sonneries déjà en communication avec la terre sont reliés au manipulateur et à la ligne par les gouttes de suif *d′*, *d* et la borne R. Les gouttes *c*, *c′* et les gouttes T, T′, sur lesquelles peuvent glisser les manettes, servent, les premières à établir la communication directe, les secondes à mettre les fils de ligne en communication avec le sol. Quelquefois on ajoute à cette installation un petit régulateur de pile qui se trouve alors interposé entre la borne C et la pile.

Dans les manipulateurs à trois directions, il se trouve une troisième manette et 4 nouvelles gouttes de suif, qui sont disposées absolument de la même manière que celles dont nous avons parlé précédemment.

Voici maintenant comment on fait usage de cette installation télégraphique :

Dans l'état de repos ou d'attente, les deux manettes doivent être toutes deux sur les contacts *d*, *d'* correspondants aux boutons S, S' et par eux aux sonneries, afin que si l'un des postes envoie son courant, il fasse partir la sonnerie qui est en rapport avec lui.

L'aiguille du récepteur doit être sur le repère, ainsi que la manivelle du manipulateur.

Si l'on veut parler à une station A, on portera la manette qui correspond au fil de A sur la goutte de suif E, puis on fera un tour avec la manivelle du manipulateur; comme à l'autre poste, la manette correspondante doit être sur le contact *d* ou S', la sonnerie se mettra en mouvement, le stationnaire sera averti, et aussitôt il portera sa manette sur le contact E, puis il répondra par un tour de la manivelle de son manipulateur, en revenant toujours se placer au repère.

Alors l'employé de la première station, étant sûr de la présence de son correspondant, transmettra sa dépêche en portant successivement la manivelle du manipulateur sur les différentes lettres qui la composent. Quand elle sera terminée, il fera deux tours de manivelle en s'arrêtant sur le Z, puis enfin au repère; cela s'appelle le final. Immédiatement celui qui aura reçu fera un tour de manivelle pour accuser réception.

Les récepteurs que M. Breguet construit peuvent faire 4,000 signaux par minute; mais le temps qu'on passe pour chercher la lettre fait qu'on ne peut guère profiter de cette perfection des appareils.

Quand on veut couper la dépêche, soit parce qu'on l'a suffisamment devinée, soit parce que l'appareil s'est dérangé ou qu'on ne l'a pas comprise, on arrête le correspondant par un tour de manivelle, et l'aiguille du récepteur étant promptement ramenée au repère au moyen de la pédale, on attend quelques secondes pour être sûr que le

correspondant a pu faire la même opération, puis on porte la manivelle sur les deux lettres R et Z suivies du dernier mot avant celui qui n'a pas été compris, pour indiquer que ce n'est que depuis là qu'il faut répéter, et, faisant le final, le correspondant reprend le mot et continue la dépêche.

Si l'on attaque son correspondant et qu'il ne réponde pas, on fera mouvoir de nouveau la manivelle en observant si l'aiguille de la boussole fait des oscillations. Si l'on ne voit aucun mouvement, on devra penser qu'une rupture existe quelque part, et on fera des recherches en conséquence [1].

Quelques mots suffiront maintenant pour qu'on puisse comprendre la marche du courant dans ces différentes manœuvres.

D'abord, quand on fait l'appel, le courant issu de la pile passe du contact P′ au levier *b*, puis au levier L, de celui-ci au cadran, du cadran au contact E, puis à la manette, puis à la ligne, puis à la sonnerie du poste auquel on parle par la manette correspondante du manipulateur de ce poste et le contact S, et enfin il revient par la terre à la première station.

Quand on envoie la dépêche, le courant suit le même chemin jusqu'au manipulateur du poste correspondant; mais là, au lieu de se diriger à travers la sonnerie, il passe de la manette au contact E′, de là au cadran, puis au levier L, puis au contact P, et enfin au récepteur, d'où il s'écoule dans la terre par le contact T. On comprend facilement, d'après cette disposition, que si le levier *b* oscille pendant cette transmission, la dépêche sera coupée, et le récepteur de la station qui parle indiquera cette coupure. C'est ce qui arrive quand on veut faire savoir que l'on n'a pas compris.

1. Nous avons emprunté ces renseignements à l'ouvrage de M. Breguet.

LIVRE IV

APPLICATIONS PHYSIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

I.

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Depuis que les piles à acides ont fourni le moyen d'obtenir une très-grande quantité d'électricité avec des éléments producteurs peu multipliés et d'un petit volume, on a pu répéter souvent soit dans les cours de physique, soit pour satisfaire la curiosité publique, la belle expérience de la lumière électrique. Aucune lumière artificielle ne peut égaler l'éclat de l'étincelle électrique, ainsi dégagée, et son rayonnement, qui lui donne l'apparence de la lumière solaire, est tel, qu'il est impossible de la fixer. Il est peu de personnes qui n'aient eu occasion de voir, soit à l'Opéra, soit sur les grands travaux de nuit, à Paris, les effets merveilleux de cette lumière et de juger de sa puissance d'éclairage. Non-seulement, les lumières des lampes placées à côté disparaissent, mais on ne les distingue que par une petite lueur rougeâtre qui semble être une ombre au milieu de l'illumination générale.

Les effets auxquels donne lieu ce genre de production de lumière sont excessivement variés et très-curieux, non-

seulement à voir, mais encore à étudier, et ils ont été l'objet de travaux remarquables de la part de nos plus grands savants. Moi-même, dans un travail spécial sur la machine d'induction de Ruhmkorff, je les ai longuement décrits et discutés. Mais parmi ces effets, il en est qui ont pu être utilement appliqués dans les arts, et ce sont de ceux-là dont nous allons actuellement nous occuper.

Si l'on attache deux fils métalliques aux deux pôles d'une pile voltaïque en activité, et que sans établir entre eux le contact on maintienne leur extrémité libre à une certaine distance suffisante pour permettre la décharge électrique, c'est-à-dire la recomposition des électricités contraires qui parcourent les conducteurs, il se manifestera une étincelle qui sera continue, parce que dans une pile les recompositions électriques se succèdent d'une manière permanente. Pour obtenir cette étincelle, il faut que la pile soit très-puissante, sans quoi la tension électrique ne serait jamais assez considérable pour vaincre la résistance de la couche d'air interposée entre les deux rhéophores, quelque petite d'ailleurs que fût cette couche d'air. Avec des rhéophores métalliques, la puissance lumineuse de l'étincelle est déjà considérable, mais elle peut être énormément augmentée par l'adjonction aux rhéophores de substances susceptibles de se désagréger facilement sous l'influence du courant électrique. Nous avons vu, en effet, page 15, 1er vol., que c'est à la présence dans la flamme de particules matérielles infiniment petites chauffées au rouge blanc que les lumières artificielles doivent tout leur éclat. De tous les corps conducteurs susceptibles de réaliser ces conditions de désagrégation, aucun n'a fourni de résultats plus avantageux que le charbon de Cornue. En taillant dans ce charbon de petits cônes allongés et reliant ces cônes à des pinces métalliques en rapport avec les deux rhéophores de la pile, on a pu obtenir cette lumière rayonnante, dont nous avons parlé,

et qui est équivalente à plusieurs centaines de becs de gaz. C'est au célèbre Humphry Davy qu'on doit cette belle découverte.

Si les charbons de Cornue étaient parfaitement purs, l'éclairage électrique ne laisserait actuellement que peu de choses à désirer, du moins dans les applications où il pourrait être utilisé, et je commence par dire, dès à présent, que ce ne serait pas pour l'éclairage des rues ni des maisons; mais comme ce charbon renferme une foule de corps étrangers et en particulier beaucoup de silicates qui fondent sous l'influence de la chaleur développée par le courant, ces charbons donnent lieu à de fréquentes éclipses et à des scintillements qui sont très-défavorables. Plusieurs personnes, et entre autres M. Jacklin, ont cherché à les purifier au moyen de courants de chlore; mais les résultats n'ont pas encore été complétement satisfaisants.

Bien que la lumière électrique n'exige pas la combustion des charbons pour manifester sa présence, puisqu'elle peut apparaître aussi belle dans le vide et dans l'eau, ces charbons brûlent rapidement et s'usent d'autant plus vite que le courant emporte avec lui une quantité considérable de particules carbonnées auxquelles la lumière électrique doit en grande partie son éclat. Une chose même assez curieuse à constater, c'est que l'un de ces charbons brûle plus vite que l'autre.

En raison de cette usure des charbons, il est impossible d'obtenir avec le circuit électrique seul une lumière continue, car au bout de quelques instants l'intervalle entre les deux charbons deviendrait trop grand et le courant ne passerait plus. On a donc dû chercher s'il n'y aurait pas un moyen d'opérer mécaniquement le transport des charbons afin qu'on n'ait pas à s'en occuper. Plusieurs physiciens et constructeurs y sont parvenus plus ou moins bien au moyen

d'instruments auxquels on a donné le nom de *régulateurs* de lumière électrique.

RÉGULATEURS DE LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Les régulateurs de lumière électrique sont d'une date très-récente. Les premiers ont été construits en Angleterre par MM. Staite et Petrie, en 1848. Il est vrai qu'en même temps M. Foucault en construisait un en France; mais comme les régulateurs de MM. Staite et Petrie étaient déjà passés dans le commerce lorsque M. Foucault a réclamé la priorité et a montré son appareil tout démonté à la commission nommée par l'Académie, on peut en conclure que l'application première, sinon l'idée, appartient aux inventeurs anglais. Auparavant de décrire ces appareils, nous parlerons d'un régulateur beaucoup plus simple, combiné par M. Archereau, afin qu'on saisisse plus facilement le principe de ce genre d'instruments. Ce régulateur, d'ailleurs, a suivi de très-près ceux de MM. Foucault, Staite et Petrie.

Régulateur de M. Archereau. — Ce régulateur est représenté fig. 3, pl. IV.

Deux colonnes ou tiges métalliques AB, CD, auxquelles on peut donner toutes les formes possibles, soit la cambrure des montants d'une lyre, soit la rigidité des colonnes grecques, soit unies entre elles par trois traverses AC, DE, FG, de manière à former un ensemble solide. L'une de ces traverses est métallique; c'est celle qui occupe la partie supérieure de l'appareil, les autres doivent être en bois. Ces dernières servent de supports et de points d'attache à une longue bobine HI placée parallèlement entre les deux colonnes, et qui doit être enroulée de fil assez gros pour que le courant en circulant au travers sans la fondre, puisse agir sur un fer électro-aimant placé à l'intérieur de la bobine.

Ce fer électro-aimant, qui n'est autre chose qu'une tige de fer K de la longueur de la bobine, est soudé à une tige de cuivre de même calibre et de même longueur, portant à son extrémité libre une petite poulie J. Du côté opposé, le fer porte un petit tube de cuivre *i* avec vis de pression dans lequel on enfonce l'un des charbons lorsque la tige entière a été introduite dans la bobine. Alors une corde fixée à la traverse inférieure et s'enroulant sur une poulie P d'un grand diamètre, peut servir de support à la tige électro-aimant en s'engageant dans la gorge de la petite poulie dont nous avons parlé. Il suffit pour cela, qu'un contre-poids Q, qui sera placé au bout de la corde, soit susceptible de lui faire équilibre.

La traverse métallique qui occupe la partie supérieure de l'appareil porte un petit tube de cuivre *j* qui descend perpendiculairement en face du charbon que porte la tige électro-aimant et dans lequel on introduit également un crayon de charbon. Au moyen d'un ajustement très-simple, ce tube peut d'ailleurs être réglé facilement, tant pour sa hauteur que pour sa direction, et par conséquent les deux charbons peuvent être placés très-exactement l'un au-dessus de l'autre.

Ainsi disposé, l'appareil peut fonctionner, mais il est important de le régler, et surtout de bien équilibrer la tige mobile. Cela étant fait, il suffit de mettre en rapport une des deux colonnes métalliques de l'appareil avec l'un des pôles de la pile, et de faire aboutir l'autre pôle au fil de cuivre de la bobine (dont un bout est soudé sur son canon). Le courant passe alors de la bobine au charbon inférieur par la tige elle-même qui le supporte, et, franchissant l'intervalle séparant les deux charbons, il arrive à l'autre pôle de la pile par la traverse supérieure de l'appareil et la colonne métallique à laquelle est attaché l'un des fils conducteurs.

Tant que le courant passe et produit la lumière, la bobine éagit sur le fer de la tige électro-aimant qui porte le harbon inférieur, et l'attire en raison de la réaction magnétique qu'exercent les solénoïdes sur un fer mobile à eur intérieur. C'est ce qui donne aux charbons *l'écart uffisant* pour l'effet lumineux. Mais, aussitôt que le courant cesse de passer, ou s'affaiblit par suite de l'usure des harbons, cette attraction cesse, et le charbon mobile, sollicité par le contre-poids, se trouve entraîné et soulevé jusqu'à ce que le courant passe de nouveau; alors l'équilibre s trouve établi entre les deux forces, et les charbons peuent s'user de nouveau.

Ainsi, à mesure que la lumière tend à décroître, le contrepoids réagit, et c'est ce qui maintient toujours égale l'intensité de la lumière.

Plusieurs précautions néanmoins doivent être prises uand on veut que l'appareil marche très-régulièrement. l faut d'abord placer les charbons à une hauteur qui dépend de l'intensité de la pile dont on doit se servir. Si la pile est très-forte, les charbons doivent être placés un peu laut, car l'attraction des solénoïdes augmente, du moins usqu'à moitié de leur longueur, à mesure que le fer s'y enfonce. Au contraire, et par la même raison, les charbons oivent être placés plus bas si la pile est faible.

D'un autre côté, comme la pile elle-même s'affaiblit, on oit avoir soin d'alléger de temps en temps le contre-poids in de maintenir l'équilibre; c'est pourquoi on emploie ans ce cas, comme contre-poids, de la grenaille de plomb.

Régulateur de M. Foucault. — Dans l'appareil précédent, point lumineux se déplace à mesure que s'usent les harbons; or, il importe dans beaucoup de circonstances, particulièrement dans l'application de la lumière électrique aux expériences d'optique, que ce point lumineux este fixe. Le problème était d'autant plus difficile à résou-

dre, que les charbons s'usent, comme nous l'avons vu, inégalement. Il a donc fallu avoir recours à la mécanique pour venir en aide à l'effet physique dans cette circonstance, et ce problème a été résolu dans le régulateur de M. Foucault.

« Les deux porte-charbons sont sollicités, dit M. Foucault dans son Mémoire adressé à l'Académie, l'un vers l'autre par des ressorts, mais ils ne peuvent aller à la rencontre l'un de l'autre qu'en faisant défiler un rouage dont le dernier mobile est placé sous la domination d'une détente. C'est ici qu'intervient l'électro-magnétisme : le courant qui illumine l'appareil passe à travers les spires d'un électro-aimant dont l'énergie varie avec l'intensité du courant; cet électro-aimant agit sur un fer doux sollicité d'autre part à s'en éloigner par un ressort antagoniste. Sur ce fer doux mobile est montée la détente qui enraie le rouage ou le laisse défiler à propos, et le sens du mouvement de la détente est tel, qu'elle presse sur le rouage quand le courant se renforce, et qu'elle le délivre quand le courant s'affaiblit. Or, comme précisément le courant se renforce ou s'affaiblit quand la distance interpolaire diminue ou augmente, on comprend que les charbons acquièrent la liberté de se rapprocher au moment même où leur distance vient à s'accroître, et que ce rapprochement ne peut aller jusqu'au contact, parce que l'aimantation croissante qui en résulte leur oppose bientôt un obstacle insurmontable, lequel se lève de lui-même aussitôt que la distance interpolaire s'est accrue de nouveau.

« Le rapprochement des charbons est donc intermittent, mais, quand l'appareil est bien réglé, les périodes de repos et d'avancement se succèdent assez rapidement pour qu'elles équivalent à un mouvement de progression continu. »

M. Foucault n'explique pas comment il a réglé le rapprochement plus ou moins grand des charbons; il est probable que c'est en donnant aux poulies, sur lesquelles s'enroulent

les fils qui les sollicitent, un diamètre inégal et en rapport avec les quantités dont ils s'usent. Il ne décrit pas non plus la manière dont agit la détente, mais il paraîtrait, d'après sa description, que c'est par une simple pression contre un tambour fixé sur l'axe des deux poulies sur lesquelles s'enroulent, en sens inverse, les cordes des porte-charbons.

Quoi qu'il en soit, cet appareil a été le point de départ de tous ceux dont nous allons parler et qui nécessitent tous une place déterminée pour chaque pôle de la pile.

Régulateur de MM. Breton, frères. — Ce régulateur ne diffère du précédent qu'en ce qu'au lieu de ressorts pour rapprocher les charbons, on s'est servi du poids et contrepoids des bras métalliques qui les portent, et, qu'au lieu d'une détente à pression pour maintenir l'écartement, on a fait intervenir un encliquetage de roue à rochet dentée très-fin. Ce sont des leviers qui agissent sur les porte-charbons et, par conséquent, c'est par la différence de leur longueur que s'opère l'inégalité dans la marche des charbons.

Les régulateurs de lumière électrique dont nous venons de parler, peuvent être disposés horizontalement ou verticalement, c'est-à-dire de telle manière que les porte-charbons soient placés, l'un vis-à-vis de l'autre, dans une position horizontale ou verticale. Cependant, comme dans beaucoup d'expériences, entre autres quand on veut analyser la lumière produite par la fusion des différents métaux, on est obligé de poser la substance à brûler dans une soucoupe de platine, on préfère les régulateurs dont les porte-charbons sont verticaux. C'est pourquoi tous les constructeurs ont dû changer la disposition première de leurs appareils.

Régulateurs de M. Jules Duboscq. — Les régulateurs de lumière électrique les plus parfaits que nous ayons jusqu'à présent, sont incontestablement ceux de M. Jules Duboscq. Depuis longtemps ils sont expérimentés journellement, et les expériences faites devant le jury de l'Exposi-

tion universelle de 1855, concuremment avec les autres appareils du même genre qui étaient exposés, ont démontré d'une manière définitive leur supériorité.

M. Jules Duboscq a disposé de trois manières ses régulateurs. Or, comme ces appareils sont très-répandus dans le commerce, nous croyons utile de décrire ces trois dispositions, afin que nos lecteurs puissent s'en servir toutes les fois qu'ils les rencontreront.

Premier modèle du régulateur Duboscq. — Dans ce régulateur, le charbon inférieur est sollicité à monter, sous l'influence d'une chaîne incessamment tirée par un ressort à barillet; tandis que l'autre charbon est sollicité à descendre par son propre poids. Le courant n'arrive aux charbons qu'après avoir traversé un électro-aimant creux, caché dans la colonne de l'instrument, et à travers lequel passe le porte-charbon inférieur. Quand le courant passe, c'est-à-dire quand les deux charbons sont à une distance suffisante pour que le courant ne soit pas interrompu, l'électro-aimant est actif et attire une palette de fer; cette pallette, par l'intermédiaire d'un levier articulé, enraie une roue à rochet, horizontale, montée sur le même axe qu'une vis sans fin, dont le mouvement commande par un système de rouages le rapprochement des charbons, rapprochement qui se trouve d'ailleurs tempéré par un modérateur à ailettes dont est munie la vis. Quand, au contraire, le courant, par suite du trop grand écartement des charbons, ne passe pas, la roue à rochet est dégagée, et le rapprochement des charbons s'opère doucement et sans secousse.

Nous n'avons pas dit encore comment dans cet appareil, le charbon positif était animé d'un mouvement plus rapide que le charbon négatif pour satisfaire à l'usure plus grande qu'il éprouve de la part du courant. Cette partie du mécanisme est la plus compliquée. Voici en quoi elle consiste.

Les poulies sur lesquelles s'enroulent les chaînes des

porte-charbons et qui correspondent à deux boutons, au lieu d'être du même diamètre, sont de diamètres inégaux. De plus, l'une a un diamètre constant, et l'autre un diamètre variable, que l'on peut faire croître à volonté, en tournant, à l'aide d'un petit levier, cette poulie qui est garnie à cet effet de trous, sur l'un de ses bords. Pour obtenir cet accroissement et ce rétrécissement de diamètre de la poulie variable, force a été d'enrouler la chaîne du charbon inférieur, non plus sur une gorge de poulie ordinaire, mais sur une lame de ressort, enroulée elle-même sur un treuil formé par l'ensemble de six goupilles, disposées circulairement sur des leviers mobiles. Ces leviers étant articulés séparément par l'une de leurs extrémités sur une même rondelle, et se trouvant engagés dans des entailles qui leur servent de guides, peuvent être redressés ou couchés, suivant qu'on tourne à droite ou à gauche le côté de la poulie sur lequel ils sont ajustés ; et, par là même, le diamètre du cercle, ou plutôt du polygone formé par les goupilles, peut se trouver agrandi ou rétréci à volonté.

Dans chaque expérience, et même plusieurs fois dans la même expérience, il faut régler l'appareil, c'est-à-dire écarter plus ou moins l'armature de l'électro-aimant, suivant la force de la pile, et donner aux poulies le diamètre relatif voulu pour que le rapprochement des charbons soit le plus régulier possible. Cette dernière opération ne se fait en général qu'une fois; elle est beaucoup moins importante que l'autre. Pour mettre les charbons à hauteur convenable, on commence d'abord par désembrayer la roue à rochet, si elle est déjà engagée; puis on fait arriver le charbon supérieur au plus haut point de sa course, en tournant l'un des deux boutons; le ressort du barillet enlève alors le charbon inférieur, et, quand il est à la hauteur voulue, on enraie la roue à rochet à l'aide d'un petit levier particulier qui se trouve disposé en conséquence. On

abaisse ensuite le charbon, soit au moyen du bouton, soit, si cela n'est pas suffisant, en faisant glisser dans son étui le porte-charbon. Celui-ci pouvant être plus ou moins incliné dans cet étui, il est facile de le placer exactement au-dessus de l'autre. En général, il faut que le charbon supérieur soit placé un peu en arrière du charbon inférieur.

Comme les charbons ne doivent pas se déplacer, il est important qu'on ait toujours le pôle positif au charbon inférieur ; par conséquent, le choix des pôles est forcé dans cette circonstance. Du reste, le nom des pôles est gravé sur les boutons d'attache de l'appareil.

D'après la description que nous venons de faire de l'appareil de M. J. Duboscq, on voit que le mécanisme régulateur employé par cet artiste a pour fonction de fixer la position de l'arc en maintenant les deux charbons à une distance constante et en les rapprochant quand, par l'effet de la combustion, leur distance tend à devenir plus grande; mais il est impuissant pour écarter ces conducteurs, quand ils arrivent au contact soit par rupture, soit par toute autre cause. Or, dans le dernier cas, l'arc cesse de se produire, et il faut attendre que l'élévation de température ait rongé le charbon positif pour que la lumière puisse briller de nouveau. Quand la lampe est à portée de l'observateur, ce temps d'arrêt est rendu très-court, car on sépare immédiatement les deux charbons ; mais quand elle est hors de portée, le temps d'arrêt se manifeste par une extinction qui est un inconvénient grave dans l'emploi de cet appareil pour l'éclairage.

M. Duboscq, à l'aide d'une modification apportée à son appareil, est parvenu à parer à cet inconvénient en séparant mécaniquement les charbons au moment où ils viennent en contact, ou, en d'autres termes, en entraînant, par un mouvement de recul, le charbon positif à la distance à laquelle l'arc électrique peut se produire.

Les dispositions prises pour atteindre ce but sont les suivantes : le rapprochement des charbons dans l'appareil décrit plus haut est déterminé, ainsi qu'on l'a dit, par une armature de fer doux, sollicitée par un ressort qui l'élève quand, par l'accroissement de la longueur de l'arc, l'intensité du courant est devenue plus faible. Cette armature est ainsi commandée par le barreau central de fer doux de l'électro-aimant placé dans le pied de la lampe. Dans l'appareil modifié, on a placé à l'extérieur de l'hélice de l'électro-aimant un barreau cylindrique creux qui s'aimante en sens inverse de celui que renferme l'hélice, et qui peut agir par attraction sur une seconde armature entourant la première, mais sollicitée par un ressort d'une résistance plus grande que celui qui gouverne celle-ci. Il résulte de cette disposition que le second ressort, qui empêche le contact de la seconde armature avec le fer doux extérieur, lorsque les deux charbons sont séparés, l'intensité du courant étant alors trop faible, n'est entravé dans son action que lorsque, les deux charbons étant en contact, le courant électrique a son maximum d'intensité.

Ainsi, en résumé, le ressort de la première armature a pour effet de faire monter le charbon positif à mesure qu'il se brûle, et l'attraction de la seconde fait reculer ce même charbon quand le contact a lieu et que l'arc cesse ; la lumière se trouve donc rétablie immédiatement par le jeu de l'instrument. On voit que la partie nouvelle de cette disposition consiste à utiliser l'action des barreaux de fer doux (extérieur et intérieur) d'un électro-aimant rectiligne, de façon à agir inégalement sur deux armatures, tantôt sur l'une, tantôt sur l'autre, pour produire des effets contraires d'avance et de recul, et à maintenir ainsi à la même distance les charbons polaires, entre lesquels est formé l'arc voltaïque.

Deuxième modèle du régulateur Duboscq. — Ayant re-

marqué que les chaînes, conduisant les porte-charbon de son premier régulateur, se cassaient quelquefois ou s'enroulaient dans un mauvais sens sur leurs pouliés quand l'expérimentateur n'était pas familiarisé avec ces sortes d'appareils, M. Duboscq a cherché à remplacer ces chaînes par des crémaillères. Cette substitution l'a forcé d'abandonner son système régleur pour l'avancement des charbons; mais il a reconnu par expérience que ce système présentait des difficultés de manœuvre que l'on pouvait éviter par l'addition d'un mobile supplémentaire au mécanisme du régulateur.

La fig. 4, pl. IV, représente ce nouveau modèle, que M. Duboscq lui-même préfère de beaucoup à l'ancien.

E est l'électro-aimant droit qui commande le mécanisme; il est renfermé dans le socle de l'appareil et est constitué par une simple bobine dont le canon est en fer doux, comme les électro-aimants que nous avons décrits pages 207 et 215, 1er vol. Cette disposition a été commandée par la nécessité de faire passer l'une des crémaillères à travers l'électro-aimant.

A est l'armature de cet électro-aimant; elle consiste dans un disque de fer doux évidé et vissé à l'extrémité d'une pièce articulée B, à laquelle est fixé le long levier C, qui fait fonctionner la détente d'embrayage du mécanisme d'horlogerie.

M est le mouvement d'horlogerie composé de quatre mobiles, et commandé par un petit barillet adapté à la roue N, laquelle engrène avec la crémaillère G H. L'axe de cette roue est muni d'une clef pour remonter le système et en même temps le barillet.

O est la roue qui met en mouvement la crémaillère I J. Cette roue est adaptée à un canon qui est monté à frottement dur sur l'axe de la roue N, et qui correspond à un bouton au moyen duquel on peut soulever ou abaisser la crémaillère I J.

V est la vis sans fin qui porte le modérateur à ailettes du mouvement d'horlogerie et la roue d'embrayage à rochet R. Cette vis reçoit son mouvement d'une autre roue à rochet Q, qui le reçoit, par l'intermédiaire d'un pignon, d'une roue P dont l'axe, portant également un pignon, engrène avec la crémaillère doublement dentée G H. Celle-ci sert alors d'intermédiaire de mouvement entre la roue N et le mécanisme d'horlogerie proprement dit.

D est la détente d'embrayage placée à l'extrémité d'un petit levier articulé, sur lequel réagit le long levier C. Cette détente, en s'introduisant dans les dents du rochet R ou en s'en retirant, arrête ou rend libre le mouvement des deux crémaillères, mouvement qui n'est pas égal de part et d'autre, puisque les roues N et O sont d'inégal diamètre et dans le même rapport entre elles que les quantités dont s'usent les deux charbons.

S I est une traverse qui soutient le porte-charbon supérieur. Ce porte-charbon est ajusté sur une partie sphérique, de manière à pouvoir être incliné dans tous les sens.

Enfin T est le porte-charbon inférieur adapté à l'extrémité de la crémaillère G H.

Une petite détente articulée, qui n'est pas figurée sur le dessin, permet d'embrayer la roue R lorsque le mécanisme électro-magnétique ne fonctionne pas ou lorsqu'on veut régler l'appareil.

Pour suppléer au système régleur du mouvement des charbons, M. Duboscq recommande de prendre dans un même morceau les deux charbons que l'on place ensemble dans l'appareil; si on n'oublie pas cette précaution, l'appareil ne fait jamais défaut de ce côté.

Voici maintenant comment on se sert de cet instrument :

On commence d'abord par éloigner les porte-charbon l'un de l'autre au moyen de la clef adaptée à l'axe de la

roue N. Comme le frottement du canon de la roue O sur l'axe de la roue N est très-dur, on met facilement les deux crémaillères en mouvement, et on tend par cela même le ressort du barillet. Quand la crémaillère inférieure est arrivée à l'extrémité de sa course, on arrête le mécanisme au moyen de la détente articulée qui se manœuvre à la main. On place alors le charbon, qui est de forme carrée, dans une cavité, également carrée, pratiquée dans un petit cylindre de cuivre composé de deux parties semi-cylindriques. On fixe ce cylindre dans le porte-crayon inférieur T, soit avec les mains quand l'appareil n'est pas échauffé, soit avec des pinces quand on fait cette opération au milieu des expériences. On en fait autant pour le porte-charbon supérieur, et on laisse ensuite les charbons se rapprocher l'un de l'autre jusqu'à ce que la pointe du charbon inférieur soit arrivée devant une ligne de repère tracée sur la colonne support X. Alors on arrête de nouveau le mécanisme au moyen de la détente articulée. Si le charbon supérieur est trop éloigné du charbon inférieur, on le rapproche au moyen du bouton monté sur l'axe de la roue O, qui alors ne peut entraîner l'axe de la roue N, puisque le mécanisme est embrayé. On l'éloignerait de la même manière s'il était trop près du charbon inférieur. Si, au contraire, il s'agissait de déplacer le charbon inférieur, on ferait usage de la clef adaptée sur l'axe de la roue N.

Quand le charbon supérieur, au moyen de l'articulation de son porte-charbon, est placé exactement dans la position qui lui convient par rapport au charbon inférieur, c'est-à-dire un peu en avant, afin que le charbon le plus lumineux soit tout à fait découvert, on ferme le courant et on dégage le mouvement. Au premier moment aucune lumière n'apparaît, parce que les charbons étant en contact, le courant les traverse sans passer par le milieu aériforme qui est nécessaire au développement de la lumière électrique. Tou-

tefois le mécanisme se trouve alors de nouveau embrayé, mais cette fois par la détente D du mécanisme électro-magnétique, qui fonctionne avec d'autant plus d'énergie que le courant n'éprouve aucune résistance. Pour faire apparaître la lumière, il suffit de détacher les deux charbons l'un de l'autre au moyen du bouton de la roue O. Alors on doit procéder au règlement de l'appareil; voici comment :

A travers un verre violet on considère attentivement le point de lumière électrique et l'intervalle qui sépare les deux charbons. Au commencement, cet intervalle est très-petit, parce que l'air froid conduit très-mal l'électricité, et que le courant n'a pas assez de tension pour vaincre cet obstacle à sa transmission quand celui-ci présente une certaine épaisseur; mais quand la chaleur, développée par la lumière et les particules carbonnées entraînées par le courant ont rendu conducteur l'intervalle isolant séparant les deux charbons, ceux-ci peuvent alors s'écarter de plusieurs millimètres sans que la force du courant soit notablement diminuée. Toutefois, si cet intervalle devient trop considérable, la force de la pile faiblit, et cet affaiblissement doit réagir sur le mécanisme électro-magnétique en permettant à l'armature A de se relever, et par conséquent au levier C de ramener la détente D. Le mécanisme d'horlogerie étant ainsi dégagé, les charbons se rapprochent jusqu'à ce que le courant, étant devenu assez fort pour attirer de nouveau l'armature, ait provoqué un nouvel arrêt du mécanisme. Comme la force nécessaire pour attirer l'armature doit être beaucoup plus grande que celle dont il est besoin pour la maintenir attirée, on comprend pourquoi on a dû rendre le jeu de cette armature le plus petit possible, afin de rendre l'appareil plus sensible, et c'est pour cela que ce jeu a dû être amplifié par le système des leviers C et D.

Si la lumière faiblit et que les charbons s'éloignent du

repère, cela montre que l'appareil n'est pas assez sensible et que le courant agit trop fortement sur le mécanisme électro-magnétique. Il suffit alors d'éloigner l'armature A de l'électro-aimant en la détournant de droite à gauche sur la pièce B jusqu'à ce que l'appareil soit devenu plus sensible. Si, au contraire, les charbons se trouvent trop rapprochés et tendent à se réunir, l'appareil est trop sensible, et on doit tourner l'armature en sens contraire.

Après avoir ainsi réglé l'armature A, on doit examiner si les fonctions de la détente s'accomplissent bien, c'est-à-dire si elle dégage et arrête convenablement la roue à rochet R; si cette détente s'engage trop profondément dans les dents de la roue R, et qu'elle ne puisse plus les dégager, on recule le levier D au moyen d'une petite vis de rappel qui lui est adaptée à cet effet. Si, au contraire, elle n'arrête pas assez sûrement cette roue, on avance le levier D.

Ce modèle de régulateur est celui que M. Duboscq destine particulièrement aux expériences d'optique et de physique.

Troisième modèle du régulateur de M. J. Duboscq. — Quand on ne veut appliquer les régulateurs de lumière électrique qu'à de simples expériences d'éclairage, leur disposition doit être un peu différente de celle dont nous venons de parler. Dans les appareils précédents, en effet, le charbon inférieur doit être pôle positif pour se prêter facilement aux différentes expériences auxquelles on doit les appliquer; mais comme ce pôle se creuse et forme une espèce de petite coupole lumineuse qui joue jusqu'à un certain point le rôle de réflecteur, la lumière se trouve projetée de bas en haut. Or, pour les expériences d'éclairage, il faut au contraire que la lumière soit rabattue de haut en bas. Pour cela, il faut donc que le charbon positif soit en haut et la disposition des engrenages et des

crémaillères du régulateur doit être par cela même différente. Dans ce cas, c'est la roue N qui engrène avec la crémaillère I J, et la roue O qui engrène avec la crémaillère G H; comme celle-ci ne peut plus servir de rouage intermédiaire, c'est la roue N qui engrène directement avec le pignon de la roue P. Du reste, la manœuvre de l'appareil est exactement la même que celle du deuxième modèle.

Le régulateur de M. Duboscq et la manière dont cet habile constructeur l'a appliqué aux appareils de projection de lumière, ont été un véritable bienfait, non-seulement pour les physiciens, mais encore pour les cours publics de physique où l'on était obligé, la plupart du temps, de renoncer aux expériences si intéressantes de l'optique faute de soleil. Nous aurons occasion de voir prochainement, à l'article des applications de la lumière électrique, toutes les expériences que ce système de projection photo-électrique a permis de rendre manifestes et palpables aux yeux de tout un auditoire.

Régulateur de M. Jaspar. — Ce régulateur, que nous avons représenté fig. 6, pl. IV, ne diffère de celui de M. Archereau, que nous avons précédemment décrit, qu'en ce que les deux charbons sont mobiles, et peuvent avoir leur marche réglée proportionnellement à leur usure par la combinaison de poulies de renvoi d'inégal diamètre.

Cette modification fait que le système d'Archereau qui, comme nous l'avons vu, ne nécessite aucun mécanisme d'horlogerie, jouit des avantages des autres régulateurs en présentant un point lumineux fixe et invariable.

Dans cet appareil, l'hélice magnétisante est placée dans le support ou le socle du régulateur, et la tige de fer, au lieu d'être sollicitée à monter par l'effet d'un contre-poids spécial agissant sur sa partie inférieure, se trouve soulevée

par l'intermédipire d'une chaîne et de cinq poulies de renvoi sous l'influence même du contre-poids qui tend à abaisser le charbon supérieur. Il en résulte donc de la part des charbons un double mouvement qui peut être transporté d'un côté ou de l'autre, suivant le diamètre qu'on donne à la poulie de traction et qui doit correspondre à l'usure plus grande de l'un ou de l'autre des deux charbons.

Extérieurement cet appareil ne présente qu'un socle surmonté d'une seule colonne de cuivre, à l'intérieur de laquelle circule la chaîne du porte-charbon supérieur et sur laquelle est monté le support de ce porte-charbon lui-même. Celui-ci, maintenu par un guide et circulant entre deux galets, ainsi que le porte-charbon inférieur, est muni d'un épaulement sur lequel on place les disques de plomb ou de cuivre destinés à servir de contre-poids au double système.

D'après M. Jaspar, les inconvénients des autres régulateurs, auxquels il aurait remédié dans le sien, seraient: 1° l'emploi forcé d'une pile considérable, afin que les intermittences auxquelles les astreint leur construction soient assez peu apparentes pour être négligées ; 2° la fragilité et souvent la complication du mécanisme d'horlogerie qui, une fois dérangé, exige beaucoup de temps, et un ouvrier exercé pour être remis en état ; 3° leur prix élevé et la difficulté de leur emploi. Nous croyons que M. Jaspar se fait beaucoup d'illusions à cet égard, et si, comme il le dit, son appareil peut marcher avec vingt éléments Bunsen seulement, les autres pourront marcher avec une force moindre; car la force électrique est toujours plus considérable qu'il ne le faut pour faire marcher les appareils régulateurs à mouvement d'horlogerie. Le seul avantage de ce système de régulateur, et cet avantage est le propre de l'appareil d'Archereau, c'est d'agir sans intermittences et d'une manière certaine, quand toutefois on a soin d'alléger

en temps opportun le contre-poids. Enfin, le prix moyen de 125 francs des appareils de M. Jaspar est encore plus élevé que celui des appareils d'Archerrau, qui coûtent de 50 à 100 fr.

Régulateur de M. Loiseau. — Le régulateur de M. Loiseau est encore fondé sur le principe du régulateur de M. Archereau : il possède en plus un réflecteur. Nous avons représenté, fig. 5, pl. IV, cet appareil. L'hélice magnétisante est à l'intérieur de la colonne qui sert de support à l'appareil, et c'est par des chaînes enroulées sur des poulies de renvoi que s'opère la transmission des mouvements du fer aimanté aux porte-charbon. Ce modèle, du reste, est assez portatif.

Régulateur de M. Deleuil. — Dans le régulateur de M. Deleuil, l'un des charbons est fixe et par conséquent le point lumineux se déplace. L'autre charbon (le charbon inférieur) est adapté à l'extrémité d'une crémaillère dentée très-fin sur laquelle réagit un cliquet d'impulsion ; ce cliquet est adapté à l'extrémité d'un long levier qui porte près de son point d'articulation l'armature de l'électro-aimant régulateur. Quand le courant passe avec force à travers les deux charbons en produisant la lumière électrique, cette armature se trouve attirée, et par conséquent le cliquet ne réagit pas sur la crémaillère du porte-charbon ; mais quand le courant est devenu assez faible pour permettre au ressort antagoniste d'agir, le porte-charbon avance d'une dent, c'est-à-dire de l'intervalle d'un demi-millimètre. Nous avons représenté, fig. 7, pl. IV, le mécanisme de ce régulateur.

Deux mots vont maintenant suffire pour montrer l'infériorité de ce régulateur. Puisque pour chaque intermittence de courant le charbon avance d'un demi-millimètre seulement, il en résultera que si la solution de continuité correspondante à l'usure des charbons est plus considérable,

l'appareil se trouvera arrêté. Or, il arrive le plus souvent que les solutions de continuité que provoque la marche du régulateur, varient de 1/4 de millimètre à 2 et 3 millimètres; cela tient au défaut de pureté des charbons qui, quand ils contiennent beaucoup de silicates, se désagrégent par morceaux entiers. Quand ces effets arrivent, et ils arrivent souvent, il faut donc qu'on rapproche à la main les deux charbons.

Régulateur de MM. Lacassagne et Thiers. — On a beaucoup parlé dans ces derniers temps d'un nouveau régulateur combiné par MM. Lacassagne et Thiers, dans lequel l'ascension des charbons pouvait se faire sans intermittences, et qui n'exigeait aucun rouage pour cette réaction mécanique. Ce régulateur a été l'objet d'un examen sérieux de la part de M. Becquerel, qui a reconnu en lui plusieurs qualités, et qui a fait à son sujet un rapport à la société d'encouragement; toutefois, nous devons le dire, il n'est pas le seul régulateur à marcher d'une manière continue et sans rouages, puisque celui d'Archereau est exactement dans le même cas.

Le système de régulateur de MM. Lacassagne et Thiers se compose de deux appareils : 1° d'un régulateur de courant, appelé par eux *régulateur-électro-métreur;* 2° d'un régulateur de lumière électrique. Nous demanderons ici, en passant, à quoi bon ce régulateur de courant puisque le régulateur de lumière corrige lui-même les irrégularités qui surviennent dans la force du courant. C'est donc deux appareils compliqués employés dans le même but!... Cela dit en passant, étudions ces appareils.

Le régulateur électro-métreur n'est autre que celui dont nous avons parlé page 346, 1er vol., et dont nous ignorions alors le nom de l'inventeur. Tel que nous l'avons décrit, ce régulateur est fondé sur un bon principe, et peut être d'un emploi avantageux dans toutes autres applications que

le à laquelle l'ont utilisé ses inventeurs. Il est cependant point sur lequel nous ne nous sommes pas suffisamment pliqués faute de renseignements.

Nous avons dit à la fin de la description de cet appareil *qu'il y avait dans ce régulateur plusieurs accessoires dont je ne m'étais pas rendu compte, mais qui étaient destinés, je le croyais, à réagir sur le tuyau d'écoulement des gaz, ou pour mettre l'appareil en rapport avec différentes intensités de courants.* Aujourd'hui, je connais suffisamment ces accessoires pour entrer dans quelques détails à leur égard.

Supposons que le tuyau d'écoulement des gaz accumulés sous la cloche du régulateur soit un tuyau de caoutchouc T, fig. 8, pl. IV, et que ce tuyau passe dans un trou AB pratiqué à travers le fer d'un électro-aimant M pour retourner sur ses pas en passant dans un second trou CD ouvert à côté du premier dans le même fer de l'électro-aimant. On comprendra qu'avec cette disposition l'armature EG pourra servir de bouchon à ce tuyau en l'étranglant en BC au moment de son attraction; au contraire, elle le débouchera quand elle cédera à l'effort de son ressort antagoniste au moment d'une interruption de courant, mais en raison de la force élastique du caoutchouc, le ressort antagoniste pourra être réglé de manière que le tuyau ne soit jamais complétement bouché.

Admettons maintenant que le courant, avant d'atteindre les électrodes de platine du régulateur, passe par cet électro-aimant, il arrivera nécessairement que tant que le courant aura une intensité suffisante le tuyau sera plus ou moins étranglé, mais aussitôt que la force électrique diminuera, l'armature en se soulevant, laissera échapper une certaine quantité de gaz, et de cette évacuation résultera l'immersion plus complète des lames de platine dans le liquide sur lequel elles réagissent. Comme alors le courant sera devenu plus intense, l'armature sera de nouveau atti-

rée pour être ensuite repoussée quand les gaz seront revenus en excès, et ainsi de suite indéfiniment.

Pour que l'appareil puisse se prêter à des intensités de courants très-différentes, MM. Lacassagne et Thiers ont ménagé une seconde issue aux gaz de l'appareil régulateur, au moyen d'un robinet muni d'une clef et que l'on ouvre plus ou moins, de manière à laisser échapper précisement la quantité de gaz qui s'échapperait par le jeu régulier de l'armature, sans trouble causé par ses oscillations normales : « *Cette nouvelle disposition*, dit le *Cosmos*, pré-
« sente un avantage : on peut recueillir le gaz éliminé
« dans une éprouvette graduée installée sur une cuve
« hydro-pneumatique, et le mesurer ; connaissant la quan-
« tité de gaz dégagée dans un temps donné, et à l'aide des
« tables d'équivalents chimiques et électriques dressées d'a-
« vance, on pourra calculer, soit l'intensité du courant
« régulier qui traverse l'appareil ; soit, s'il s'agit d'effets
« galvano-plastiques, déterminer *à priori* la quantité d'or,
« d'argent, de platine, etc., déposée dans le bain. »

Arrivons maintenant à la description du régulateur de lumière électrique.

Il est fondé sur le même principe que la partie de l'appareil précédent que nous n'avions pas décrit dans notre premier volume.

Imaginons un réservoir A, fig. 9, pl. IV, rempli de mercure, et communiquant avec un autre vase G par un tube de caoutchouc BKFCDEH replié à travers un électro-aimant M, comme nous l'avons vu précédemment. Concevons qu'à la surface du mercure remplissant en partie le vase G, surnage un flotteur I convenablement dirigé en ligne droite par un guide et terminé par un porte-charbon J au-dessus duquel sera fixé un autre porte-charbon L : on comprendra que si le courant qui devra illuminer les charbons LJ passe à travers l'électro-aimant M, l'armature de cet électro-aimant

se trouvera attirée tant que le courant aura une énergie déterminée, en rapport avec la distance voulue pour l'écartement des charbons. Par conséquent, le tuyau de caoutchouc sera bouché, ou plutôt sera affaissé en DC d'une quantité qui sera en rapport avec cette énergie électrique. Aussitôt que la distance entre les charbons augmentera, l'électro-aimant devenant plus faible attirera moins fortement l'armature, et la partie DC du tuyau sera moins affaissée. Comme la quantité de mercure qui passe du vase A dans le vase G dépend de la largeur du tuyau de caoutchouc, on comprendra que l'ascension du flotteur I sera subordonnée complétement à la réaction plus ou moins énergique de l'électro-aimant, c'est-à-dire à la distance plus ou moins grande qui sépare les charbons : ainsi pendant que la combustion tend sans cesse à séparer les charbons, la pression hydrostatique du mercure gouvernée par le jeu de l'armature, sous l'influence du courant, tend sans cesse à relever le charbon inférieur et à le rapprocher du charbon supérieur, et si le ressort de l'armature a été bandé autant qu'il doit l'être, ce que l'on obtient par un tâtonnement de quelques instants, les deux effets d'éloignement et de rapprochement se compenseront exactement, et les deux pointes de charbon resteront à la même distance.

Dernièrement, MM. Lacassagne et Thiers ont cherché à rendre plus régulier leur appareil en faisant varier la tension du ressort antagoniste de l'armature de l'électro-aimant M, suivant l'intensité plus ou moins grande du courant. A cet effet, ils ont prolongé cette armature au delà de son point d'articulation, et ont fait réagir sur ce prolongement d'armature un électro-aimant additionnel interposé dans une dérivation très-résistante du circuit principal ; il résulte de cette disposition que la tension du ressort antagoniste s'affaiblit avec la diminution d'intensité de la pile, mais sans pour cela être solidaire des inégalités accidentelles surve-

nues dans l'intensité du courant produisant la lumière, puisque les deux circuits sont indépendants l'un de l'autre. Cet électro-aimant additionnel évite donc de toucher au ressort antagoniste à mesure que la pile s'affaiblit, comme on est obligé de la faire avec les autres régulateurs.

Pour mieux faire comprendre les appareils de MM. Lacassagne et Thiers, nous avons supposé que le tuyau de caoutchouc qui traversait le fer de l'électro-aimant régulateur se recourbait au-dessous de l'armature, de manière à ne former qu'un simple et unique tuyau ; mais les exigences de la construction ont forcé de le diviser en deux parties précisément au point de sa brusque courbure. C'est alors une espèce de petit capuchon de caoutchouc disposé de manière à envelopper la partie supérieure du fer de l'électro-aimant qui continue le tuyau et qui reçoit la pression de l'armature.

Discutons maintenant les avantages de ce régulateur de lumière électrique.

Nous commencerons d'abord par constater que dans cet appareil le point lumineux se déplace puisque l'un des charbons est fixe. Sous le point de vue de son application aux expériences de l'optique il ne constitue donc pas un progrès sur l'appareil de M. Duboscq. En second lieu, la distance de séparation du charbon dépendant essentiellement de la planitude parfaite du niveau du mercure dans le vase G, les moindres trépidations apportées à cet appareil peuvent faire osciller suffisamment le charbon inférieur pour éteindre la lumière. Cet appareil ne peut donc pas être appliqué toutes les fois qu'il s'agira de le soumettre à un mouvement, par exemple, sur les navires où l'emploi de la lumière électrique serait pourtant fort utile, comme nous le verrons plus tard. D'ailleurs cette quantité de mercure qu'on est obligé d'employer, et qui s'élève au moins à un litre, ne le rend pas susceptible d'être transporté facilement.

En troisième lieu, quand les charbons sont usés, il faut, pour remettre l'appareil en état d'en recevoir d'autres, que tout le mercure soit vidé du vase G dans le vase A, ce qui, on en conviendra, n'est pas une opération qui se fasse aussi facilement et aussi promptement qu'un ou deux tours de clef. En quatrième lieu, le prix de cet appareil est exorbitant (1000 fr. environ), et ce n'est certes pas une considération sans importance.

M. Ed. Becquerel s'est servi du régulateur de MM. Lacassagne et Thiers pour faire une série de recherches fort intéressantes sur la lumière électrique, que je regrette de ne pouvoir faire connaître complétement ici, mais desquelles il résulte que la dépense d'un foyer de lumière électrique provenant d'une pile de soixante éléments de Bunsen, est en frais brut, sans parler de la mise en œuvre, 3 francs par heure. Son intensité lumineuse mesurée au photomètre est égale à celle fournie par 350 bougies. Le prix de revient d'un pareil éclairage avec le gaz dans les conditions les plus favorables serait de 0,80 cent. au taux de la concession faite à la ville de Paris. Enfin, lumière pour lumière, la dépense de l'éclairage à l'huile serait à peu près égale à celle de la lumière électrique.

Une conséquence remarquable que M. Becquerel a déduite de ses expériences, c'est que le maximum de lumière est produit quand l'arc voltaïque oppose à la conductibilité du circuit une résistance égale à celle de la pile, ce qui du reste est conforme à la théorie que nous avons exposée page 195 (1er vol.).

Système de régulateur électrique de M. Liais. — Pour obtenir une lumière plus régulière et moins saccadée que ne la produisent plusieurs des régulateurs précédents, M. Liais a proposé un système au moyen duquel le régulateur agirait d'une manière constante sans être soumis au caprice des charbons. — D'abord, un commutateur à ren-

versement de pôle serait appliqué à l'appareil afin de rendre égale l'usure des deux charbons, et ce commutateur serait mis en mouvement soit par un moteur électro-magnétique, au travers duquel passerait le courant, soit par un mouvement d'horlogerie. En second lieu, ce commutateur tout en renversant le courant à des intervalles très-rapprochés, le conduirait alternativement dans un double système de charbons qui composerait le foyer lumineux. Il en résulterait que pendant le temps de la permutation du courant, les charbons pourraient être sans cesse rapprochés au contact, puis écartés d'une quantité constante par le mécanisme moteur, et cette quantité pourrait être réglée suivant l'intensité de la pile que l'on voudrait employer. En troisième lieu l'ensemble de l'appareil serait animé d'un mouvement de rotation rapide pour dissimuler le passage du courant de l'un à l'autre système de charbons. Enfin les charbons eux-mêmes devraient être placés dans un globe de verre où serait fait le vide, afin d'en rendre l'usure moins prompte.

APPLICATIONS DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Application à l'éclairage. — Depuis la découverte par Davy du merveilleux pouvoir éclairant de l'étincelle électrique échangée entre deux charbons, on a fait bien des essais pour l'appliquer à l'éclairage public; mais ces essais n'ont pas fourni jusqu'à présent de résultats satisfaisants. En effet, ce n'est pas une lumière intense concentrée qu'on doit rechercher pour cette sorte d'application; outre que cette lumière devient insoutenable à la vue, quand on en est rapproché, elle ne peut éclairer une assez grande étendue autour d'elle pour présenter un réel avantage sur les lumières disséminées en grand nombre sur des points différents. On a pu se convaincre de la vérité de ce fait par les expériences qui ont été tentées il y a quelques années sur la

place du Carrousel, non, il est vrai, avec de la lumière électrique, mais avec une lumière également très-intense qui projetait autour d'elle une belle sphère lumineuse. On a reconnu finalement que ce bec unique était loin de fournir les mêmes avantages que les becs ordinaires de gaz qui s'y trouvaient placés auparavant. Or, si l'on considère que le caractère propre de la lumière électrique est précisément sa puissance de concentration, on arrivera à conclure que ce n'est pas à l'éclairage public ou privé, qu'on peut appliquer ce genre de manifestation lumineuse. Quoi qu'il en soit, nous croyons utile de rapporter ici les différents essais qu'on a tentés, et les différents moyens qu'on a proposés pour résoudre ce problème.

Système de M. Wartmann. — « Les efforts des personnes qui se sont occupées d'éclairage électrique, dit M. Wartmann, semblent s'être concentrés sur deux points : obtenir la lumière la plus intense et lui assurer le plus de fixité possible.

« Je pense qu'il faut résoudre autrement le problème de l'éclairage électrique. Un arc d'un éclat excessif détermine des contrastes d'ombre et de lumière très-désavantageux et qui fatiguent l'œil. Si, pour protéger celui-ci, on dispose l'appareil à une grande hauteur, on accroît la surface éclairée, mais on perd beaucoup de lumière. N'est-il pas plus rationnel d'assimiler les conditions de l'éclairage électrique à celles de l'éclairage au gaz? Pourquoi n'établirait-on pas, dans le circuit d'une pile suffisamment intense, autant de *becs électriques* qu'il y a de points à illuminer, chacun de ces becs ayant un éclat égal à celui d'un bec de gaz, par exemple? Alors la lumière électrique se rencontrera partout où les conducteurs pénètrent, dans les cours, les allées, les ateliers, les magasins, les salons, et où l'illumination produite par un phare extérieur serait sans efficacité.

« Je me suis assuré, depuis longtemps, qu'on peut faire jaillir l'arc électrique entre plusieurs points d'un même circuit. La somme des lumières émises par deux fixateurs de Duboscq, agissant ensemble, est égale à la lumière produite par un seul d'entre eux. Pour montrer la possibilité de multiplier les points éclairants, on dispose, les unes à la suite des autres, une douzaine de capsules de porcelaine remplies de mercure, et on plonge les conducteurs de la pile dans les deux extrêmes. Ces capsules communiquent deux à deux par des fils de cuivre fixés sur une traverse. Si l'on soulève celle-ci avec soin, on produit vingt-deux arcs qui brillent jusqu'à ce que la vaporisation du mercure et la combustion des fils aient altéré les conditions de passage du courant.

« Trois obstacles se présentent quand il s'agit d'*entretenir* plusieurs becs sur un même parcours galvanique. D'abord, une pile formée d'éléments très-nombreux engendre un courant qui s'affaiblit au bout de quelques heures. J'assure à ce courant la constance nécessaire par le moyen de mon *compensateur voltaïque* [1].

« En second lieu, l'interruption du courant en un seul point éteindrait tous les becs à la fois. Cette interruption peut résulter de l'action d'un aimant sur l'arc lumineux, d'une trop grande distance entre les charbons, ou d'un courant d'air (on peut souffler la flamme électrique comme celle d'une bougie). Mais j'ai constaté qu'il est possible de suspendre la circulation de l'électricité pendant 1/20 de seconde sans que l'arc s'évanouisse, et je montrerai plus loin comment cette circonstance permet de lever la difficulté.

« En troisième lieu, l'éclat de chaque bec électrique variera avec le nombre des autres becs qu'on allumera dans l'intervalle des pôles. On remédie sans peine à cet inconvénient

1. Voir la description de cet appareil, 1er vol., p. 344; le dessin de cet appareil est représenté fig. 19, pl. IV, 3e vol.

par l'intercalation dans le circuit d'autant de résistances partielles qu'il y a de becs, chaque résistance équivalant à celle du passage du courant entre les charbons de chaque bec. Des conducteurs convenables obligent le courant à traverser la résistance, ou l'en débarrassent, suivant que le bec fonctionne ou non.

« Ces dispositions s'appliquent à tous les appareils régulateurs. J'ai cherché à les rendre plus efficaces, en les combinant avec un moyen nouveau de fixer l'arc électrique. On sait que le charbon positif éprouve dans le même temps des pertes beaucoup plus considérables que l'autre, par suite du transport de ses molécules sur le charbon négatif. Or, on peut compenser ces pertes en faisant tomber sur lui de la poudre de charbon ou de graphyte en quantité égale, ou un peu supérieure, à celle que lui enlèvent la combustion et le transport. De cette manière, l'usage du bec n'est plus limité, comme dans les autres appareils, par la longueur toujours restreinte des baguettes de charbon. J'entoure ce bec d'un tube de verre qui régularise le courant d'air, et empêche les vacillations de la flamme. Enfin j'adapte, s'il en est besoin, un réflecteur pour concentrer la lumière dans une direction déterminée.

« Il ne me reste qu'à décrire l'ensemble des pièces qui président au fonctionnement d'un bec électrique.

« Soit P le conducteur positif de la pile, qui aboutit par le fil *a* au bouton à vis *b* soutenu par l'arc métallique *gg*, et où il se bifurque. Une branche *c*, qu'on arrête par la vis *b'*, se termine par un disque de cuivre *d* dans le vase R. Celui-ci contient une solution de sulfate de cuivre, de longueur telle que la résistance qu'elle oppose au passage du courant soit égale à celle que le même courant éprouve à franchir l'intervalle entre les charbons. Sur le fond du vase est un disque *e* soudé au fil *f*, qui s'arrête au bouton à vis *h*. Là se réunissent deux fils : l'un, *i*, allant au bouton à vis *h* qui

maintient le ressort *l*; l'autre, *mm*, qui se termine à un écrou dans lequel il est fixé par la vis de pression *n*.

« Du bouton *b* part un second fil *o*, qui s'enroule sur les deux branches de l'électro-aimant E, puis se prolonge en *p* jusqu'à la traverse métallique *q*. Cette traverse, et une autre *q'*, servent à maintenir une tige de laiton dentée en crémaillère, qui se manœuvre à l'aide du pignon *r*. La tige porte l'un des charbons *C*, apointi vers le haut, et dont la base est entourée d'un rebord concave *s*. Cette même tige présente, sur la face opposée à la crémaillère, une lame de platine *t*, isolée dans un cadre d'ivoire. Trois ressorts pressent cette face : *l* déjà indiqué, *z* qui est lié au pôle négatif par N, enfin *y* mis en relation par le fil *u* et la branche métallique *v* avec le charbon supérieur *S*. Les extrémités libres des ressorts et la longueur de la lame *t* sont combinées de manière que le ressort *z* communique tantôt avec *y*, tantôt avec *l*, suivant le jeu du pignon *r*. L'un des ressorts extrêmes touche la lame *à l'instant* où l'autre lui échappe, en sorte que le courant n'est jamais interrompu, et qu'il n'y a pas d'étincelles à redouter pour la conservation de ces ressorts.

« La longue branche *v* de cuivre s'appuie d'un côté par le tranchant d'un couteau sur la pièce fixe *w*; de l'autre elle est maintenue par un léger ressort à boudin *x*, terminé par une vis, et dont la position se modifie à l'aide d'un écrou *a'*. De la pièce de métal *w* part un conducteur B lié à la colonne G, qui porte le couteau d'appui de l'armature de fer doux A. Le jeu de cette armature se règle par le moyen de deux ressorts à boudin *e'* et *z'* qui se tendent chacun par des tiges à vis et des écrous convenables *a''* et *a'''*. Cette disposition ressemble à celle que l'habile ingénieur M. Hipp a introduite dans les relais télégraphiques suisses dont nous avons parlé. Mais elle en diffère en ce que le jeu des deux écrous opposés permet d'amener l'armature à une

distance quelconque du pôle, tout en donnant au système des ressorts une tension plus ou moins grande. Or, on sait que, toutes choses égales, un ressort vibre d'autant plus vite qu'il est plus tendu. Rien, dès lors, de plus aisé que d'obtenir le retrait de l'armature, quand l'électro-aimant cesse de l'attirer, dans un temps beaucoup moins long que 1/20 de seconde.

« L'extrémité *b''* de l'armature P est destinée à s'appuyer contre la pointe platinée de la vis *c* mobile dans l'écrou *isolé* qui porte la vis de pression *n*; l'autre, *d'*, à embrayer la roue dentée *e'* quand l'électro-aimant E ne fonctionne pas. Cette roue est portée par l'axe d'une hélice *n'* mue par un mouvement d'horlogerie D, qui (susceptible d'agir comme compteur si cela est utile) fait tomber la poudre de charbon dont est rempli le réservoir conique *m'*. Cette poudre traverse un canal pratiqué à travers le gros charbon S, et arrive sur le charbon C; l'excédant est recueilli par le rebord *s*. — Sur la pièce d'arrêt *d'* est encore fixée une chaînette *q'* qui s'enroule sur la petite gorge de la poulie de renvoi *p'*. Une autre chaînette *h'* s'attache sur la grande gorge de cette poulie et se termine à l'extrémité du bras *v*.

« Il est facile de comprendre l'action de l'appareil. Tant que le porte-charbon n'aura pas été soulevé par le pignon *r*, le ressort *y* demeurera isolé, le ressort *l* touchera la lame de platine *i*, et le courant n'aura d'autre voie que celle des conducteurs P *a b d* R *e f h i k l t z* N.

« Quand, au contraire, on aura exclu le ressort *l* et amené le ressort *y* à presser contre *t*, le courant se partagera entre deux routes. Une partie passera par P *a b d* R *e f h m n c' b* G B *w u y t z* N, en surmontant la résistance R. L'autre portion, beaucoup plus considérable, se dirigera par P *a o* E *p q* C S *v w u y t z* N, parce que les deux charbons se toucheront. Aussitôt, l'électro-aimant attirera l'ar-

mature A, et, ouvrant le premier circuit entre b'' et c', fera cesser la dérivation. En même temps, l'abaissement de l'arrêt d' rendra libre le mécanisme du distributeur D, et le cordon q' ayant cédé, permettra au ressort x de soulever la branche v, ainsi que le charbon S, à la hauteur nécessaire pour que l'arc soit le plus brillant possible. Cette hauteur se détermine non-seulement par la tension des ressorts x, e' et z', mais encore par le rapport des rayons des deux gorges de la poulie p'.

«Si une cause quelconque rompt l'arc entre C et S, le courant cessera aussitôt de circuler autour de l'électro-aimant E. Alors l'armature A, remontant de suite, rétablira la continuité du circuit par n c' b'' G B w u. Les autres becs électriques, distribués sur le parcours du conducteur général de la pile, ne seront pas éteints, et leur éclat ne sera pas modifié, car le courant traverse la résistance R. Mais le relèvement de l'armature A aura simultanément pour effet de descendre le charbon S jusqu'au contact du charbon fixe C, et le bec se rallumera ainsi d'une manière tout automatique.

« Le charbon S ne se raccourcit pas sensiblement, parce que le courant qui le traverse est peu intense (l'illumination à produire équivalant à celle d'un bec de gaz), et que ce courant y dépose les molécules enlevées à C. Je donne au tronc de cône terminal un grand diamètre, ce qui contribue encore à amoindrir la diminution de longueur. Si toutefois on veut compenser la perte minime qu'il éprouve au bout d'un grand nombre d'heures, il suffit de donner à l'écrou a' un mouvement très-lent, emprunté au mécanisme du distributeur D. L'allongement du ressort x, qui en résulte, assure la constance de l'intervalle que le courant doit parcourir entre les deux charbons. Il ne serait pas difficile de disposer ceux-ci dans le vide, ce qui annulerait la perte due à la seule combustion.

«Ainsi, quand la pile est en activité, la seule chose à faire pour allumer le bec électrique, ou pour l'éteindre, consiste à mouvoir le pignon *r* dans un sens ou dans l'autre. Les limites de son excursion sont réglées par les traverses *j*, *j'*, fixées à la tige. On n'a d'autres soins à prendre que de monter à longs intervalles le ressort du distributeur, de renouveler la provision de poudre dans le réservoir très-capace *m'*, et de remplacer le charbon S, ainsi que le disque *d*, qu'il convient de faire très-épais.

« On doit donner au vase R de grandes dimensions, afin d'empêcher que l'échauffement du liquide ne puisse y devenir considérable, ce qui diminuerait sa conductibilité. Dans les cas (qu'il faut éviter) où le courant posséderait une forte intensité, les conducteurs D et *e* se détérioreraient en donnant naissance aux fourmillements lumineux que j'ai découverts en 1847[1]. »

Système de M. Quirini. — « On peut, avec une seule pile, dit M. Quirini, faire marcher plusieurs lampes électriques à la fois, condition indispensable pour l'éclairage public.

« Pour cela il suffit de mettre le pôle zinc de la pile en contact avec le pôle zinc de la première lampe électrique, et le pôle charbon de la pile avec le pôle charbon de la dernière lampe électrique, et unir les autres lampes entre elles avec des conducteurs disposés de façon que le pôle charbon de la première lampe soit en communication avec le zinc de la seconde, et ainsi de suite.

« Toutes ces lampes électriques ne forment alors qu'un seul système. Le fluide électrique suit son chemin d'un

1. *IVe Mémoire sur l'Induction*, Bibliothèque universelle, tome V, p. 154, et Annales de chimie et de physique, 3e série, tome XXII, p. 17. — Des phénomènes semblables ont été décrits à la même époque par M. Maas (Bulletin de l'Académie de Bruxelles, tome XIV, 1re partie, page 432; 1847), — et tout récemment par M. Quet (Comptes Rendus, tome XXXVI, p. 1012; séance du 6 juin 1853.

pôle à l'autre de la pile, et surmonte les obstacles qu'il trouve dans sa marche aux électrodes, quand on voit jaillir la lumière électrique.

« Il n'y a point augmentation de la lumière, mais une meilleure distribution.

« Si, par exemple, avec une pile de 50 éléments de Bunsen et une lampe électrique, vous avez une intensité de lumière égale à cent, avec deux lampes vous aurez une intensité de lumière à peu près de la moitié, avec quatre une intensité à peu près d'un quart pour chacune.

« En juin 1855, j'ai fait pour la première fois, à Venise, cette expérience dans une société savante (l'*Ateneo-Veneto*), et je la publie ici, car elle n'est pas connue. Il y a de l'utilité dans ce fait, surtout quand il s'agit d'éclairer de grands emplacements, des rues, des locaux séparés les uns des autres; la lumière est mieux placée, moins forte, moins incommode.

« Il y a de plus économie, et quand la pile diminue de force, on peut très-facilement supprimer la communication avec les autres lampes, et concentrer la puissance électrique du foyer électrique sur celle qui reste en communication avec la pile.

« L'on fait cette expérience avec toutes sortes de lampes électriques; il est bon pourtant que les lampes en action soient dans le même système, afin que le courant électrique ait le moins possible d'entraves dans sa marche. »

MM. Deleuil, dans le numéro du 11 janvier 1856, du *Cosmos*, ont réclamé la priorité de ce système d'éclairage, prétendant que dès le 10 novembre 1849, ils avaient étudié les moyens de diviser la lumière électrique et d'obtenir le fonctionnement simultané de plusieurs appareils placés dans le même circuit en donnant un éclairage égal. La première de ces expériences, couronnée de quelque succès, date, disent-ils, de septembre 1850. Ils opéraient avec 80

éléments de Bunsen; trois appareils, disposés comme ceux de M. Quirini, donnèrent pendant 5 minutes seulement, une lumière sensiblement la même pour chacun. Le 2 octobre, ils modifièrent leur combinaison. Au lieu d'une pile de 80 éléments, ils employèrent trois piles de 20 éléments chacune et formèrent le circuit dans l'ordre suivant : pôle positif de la première pile, pôle positif du premier appareil, pôle négatif du premier appareil, pôle négatif de la seconde pile, pôle positif de la seconde pile, pôle positif du deuxième appareil, pôle négatif du deuxième appareil, pôle négatif de la troisième pile, pôle positif de la troisième pile, pôle positif du troisième appareil, pôle négatif du troisième appareil, pôle négatif de la première pile : les appareils donnèrent pendant un peu plus de 5 minutes seulement une lumière égale. Le 19 et le 31 octobre, un nouvel essai semblable, fait avec deux appareils et deux piles de 30 éléments, donna un résultat satisfaisant pendant 15 minutes. Le 10 décembre enfin, avec quatre appareils et quatre piles de 20 éléments, ils éclairèrent aussi pendant un quart d'heure.

Ces expériences, comme on le voit, ne sont guère encourageantes, et si MM. Quirini et Wartmann n'ont pas mieux réussi, c'est à désespérer complétement de l'application de l'électricité à l'éclairage public.

Du reste, M. Ronalds, avant M. Deleuil, avait démontré les avantages qui résulteraient de la substitution d'un appareil multiple, d'une espèce de candélabre électrique, au simple fixateur qui absorbe à lui seul toute une pile puissante. Suivant lui, les charbons brûleraient moins vite et dureraient plus longtemps; une des branches du candélabre pourrait s'éteindre sans qu'on s'en aperçût, et les autres pourraient continuer à fonctionner à la condition toutefois, que par un mécanisme additionnel, la branche qui s'éteindrait fermât le circuit interrompu.

Il fait, en outre, remarquer que le plus grand obstacle à l'emploi de l'éclairage électrique n'est pas sa dépense relativement minime, mais le défaut de continuité et la nécessité absolue de l'œil et de la main d'un surveillant, qui n'abandonne jamais à lui-même l'appareil unique dont les charbons peuvent se briser à chaque instant et s'usent si rapidement.

Pour résoudre le problème de la division du courant dans l'éclairage électrique, MM. Lacassagne et Thiers se sont imaginé d'ajouter à leurs régulateurs un certain appareil auquel ils donnent le nom de *diviseur* du courant, et qui doit opérer la répartition de ce courant en un nombre quelconque de courants constants ou réguliers dont les intensités soient une partie aliquote déterminée de l'intensité du courant primitif. Ils utilisent, à cet effet, leur régulateur électro-métreur que nous avons décrit. Pour en comprendre la fonction, supposons que le courant de la pile ait une intensité suffisante pour produire tous les effets qu'il s'agit d'obtenir; fixons à l'un des pôles, le pôle positif, par exemple, un rhéophore ou conducteur capable de transmettre sans résistance le courant né de la pile. Ce sera pour fixer les idées en faisceau, composé d'autant de fils individuels que l'on veut obtenir de dérivations de courant; nous couperons le faisceau, pour fixer aux deux bouts que détermine la coupure deux lames de platine, et interposer sur le passage du courant un premier régulateur électro-métreur, de manière à régulariser le courant total. Au delà du régulateur, ou si l'on peut s'exprimer ainsi, à la sortie du régulateur, le faisceau se subdivisera, c'est-à-dire que les fils individuels dont il se compose, et qui ont un diamètre proportionnel à l'intensité du courant partiel qu'ils doivent transmettre, se sépareront; chacun d'eux ira aboutir à l'appareil que le courant doit mettre en jeu.

Mais entre le point de séparation des fils et l'appareil

correspondant, on interposera sur chaque circuit un nouveau régulateur électro-métrique ou rhéostat-automoteur qui permettra de régler et au besoin de mesurer l'intensité de la fraction de courant correspondante. Des fils égaux à ceux qui ont amené le courant à l'appareil le reprendront à sa sortie; ces fils se réuniront plus tard en un faisceau unique qui viendra se rattacher au pôle négatif de la pile, et formera le circuit total; tout sera alors régularisé, égalisé, mesuré. Lors même que l'un des appareils en question cesserait de fonctionner, le jeu des rhéostats-automoteurs empêchera qu'il ne pénètre une plus grande quantité d'électricité dans les autres circuits, ou que les autres appareils cessent de fonctionner régulièrement; en effet, par les dispositions que nous avons décrites, chaque circuit partiel ne donnera passage qu'à un courant d'intensité déterminée et toujours la même.

On comprend d'après cette description que nous avons empruntée au *Cosmos*, quelle effrayante complication entraînerait un pareil système, et tout cela pour produire un effet dont on peut finalement se passer.

Pour résoudre le même problème, c'est-à-dire pour répartir la lumière électrique d'une seule pile sur plusieurs points, M. Liais a proposé un autre système qui consiste à faire passer successivement le courant d'un appareil dans l'autre, de manière que les apparitions lumineuses se succèdent à travers tous ces appareils dans un espace de temps moindre d'un dixième de seconde. Il en résulterait, suivant lui, une lumière qui paraîtrait continue sans exiger de bifurcations du circuit. Malheureusement, ce système ne résout pas mieux que les autres le problème de l'éclairage électrique, car si on gagne de la puissance électrique par l'absence des bifurcations, on en perd considérablement par la petite quantité d'électricité qui produit une action effective pendant les courts intervalles de l'apparition de la

lumière. Nous avons vu, en effet, au sujet du chronoscope de M. Pouillet (2e vol.), que les réactions des courants croissent et décroissent dans un certain rapport avec la durée de leur apparition. Par conséquent, si les interruptions nécessaires à la commutation du courant d'un appareil à l'autre sont très-rapprochées, l'effet électrique produit ne peut être que très-minime.

Système de M. Martin de Brettes. — Le système que M. Martin de Brettes a proposé pour éclairer un grand espace, est fondé sur ce principe, que, si un système de lentilles disposé autour d'un foyer de lumière électrique tourne assez vite dans deux directions rectangulaires pour que le passage d'une projection de lumière à l'autre soit moindre qu'un dixième de seconde, l'œil conservera l'impression d'un éclairage permanent correspondant à la réunion dans l'espace de toutes ces projections. Ainsi, en admettant que par l'intermédiaire d'une lentille, la lumière électrique éclaire à une distance triple de celle à laquelle elle pourrait le faire sans lentille, cette amplification dans le système de M. Martin de Brettes ne donnerait pas lieu à un simple cône de lumière dirigé sur un point, mais à une immense sphère lumineuse qui éclairerait l'espace à longue distance autour du point lumineux. Ce système comporte deux appareils distincts : un régulateur de lumière électrique et un appareil amplificateur à rotation.

Ce dernier consiste dans une carcasse polygonale de fonte EE, fig. 11, pl. IV, sur le pourtour de laquelle sont montées six lentilles de phare x, y, z, et dont le centre porte deux tourillons creux à travers lesquels passent les porte-charbon du régulateur. Cette carcasse est montée par ses tourillons dans un cadre de fonte DD qui peut pivoter lui-même sur deux de ses côtés, dans un sens perpendiculaire à celui dans lequel tourne l'appareil lenticulaire. De plus, des engrenages g et des poulies de renvoi a, b adaptés aux

tourillons de ces deux systèmes tournants, permettent que le mouvement communiqué par la roue motrice M (laquelle est montée sur le support de tout cet ensemble mobile) soit transmis d'abord au cadre de fonte DD, et en second lieu au prisme lenticulaire EE.

Avec cette disposition, si les rouages sont combinés de manière que la roue lenticulaire EE fasse environ deux tours par seconde, tandis que le cadre qui la porte en accomplira cinq, le problème sera résolu ; car les lentilles passeront plus de dix fois par seconde dans deux directions rectangulaires, et, comme les cônes de lumière qu'elles projetteront engendreront une sphère, tout l'espace, à une grande distance autour du foyer lumineux, sera éclairé.

Ainsi, sans augmenter l'intensité de la lumière électrique, on peut l'amplifier d'une manière considérable et la projeter au loin dans toutes les directions à la fois, comme si elle passait au travers d'une sphère de verre composée d'un nombre infini de lentilles.

Le régulateur employé par M. Martin de Brettes est fondé, comme ceux que nous avons décrits, sur les effets mécaniques de l'électro-magnétisme.

Les porte-charbon passent, comme nous l'avons déjà dit, au travers des tourillons de l'appareil lenticulaire. Ils sont sollicités à marcher l'un vers l'autre par deux ressorts à boudin ; mais ils sont arrêtés à une distance convenable par deux frotteurs dentelés mis en rapport (à l'aide de leviers à bascule) avec un électro-aimant interposé dans le courant. Quand le courant passe, les frotteurs empêchent les charbons d'avancer, parce que l'électro-aimant les tient appuyés; mais aussitôt qu'il s'affaiblit, les ressorts l'emportent et poussent l'un vers l'autre les charbons, jusqu'à ce que le courant soit rétabli dans toute sa force. En raison de la mobilité de l'appareil, tous les contacts métal-

liques ont dû se faire par l'intermédiaire de frotteurs.

Ce système de régulateur laisse sans doute beaucoup à désirer, mais, comme on peut lui substituer celui de M. J. Duboscq, l'ensemble du système de M. Martin de Brettes n'en est pas moins très-ingénieux et devrait être expérimenté. Nous verrons bientôt qu'il pourrait être d'un grand secours pour les opérations militaires auxquelles M. Martin de Brettes l'avait destiné d'une manière toute particulière.

Application de la lumière électrique aux expériences de physique. — Il est, comme je l'ai déjà dit, beaucoup de phénomènes physiques qui, pour être rendus palpables aux yeux de tout un auditoire, ont besoin d'être projetés sur un large écran, à la manière des sujets de la lanterne magique. Il est même quelques-uns de ces phénomènes qui tiennent à la nature propre de la lumière, qui exigent pour être perçus une lumière excessivement intense. Sans doute, avec la lumière solaire et au moyen d'un porte-lumière, le problème peut être réalisé immédiatement et à peu de frais ; mais, la plupart du temps, le soleil manque quand il en est besoin, et l'on se trouve forcément privé de ces expériences qui, non-seulement donnent à un cours une plus grande animation et un charme tout particulier, mais encore sont beaucoup mieux comprises et surtout beaucoup mieux retenues quand les yeux ont été frappés. La lumière électrique peut être substituée victorieusement au soleil pour ce genre d'application, et le régulateur de M. J. Duboscq a été disposé, comme nous l'avons vu, tout exprès dans ce but.

Les appareils destinés à projeter la lumière électrique se composent : 1° d'un fixateur de lumière électrique dont les deux charbons en s'usant ne déplacent pas le point lumineux ; 2° d'une lanterne hermétiquement fermée dans laquelle on place le régulateur ; 3° d'une lentille plan-con-

vexe destinée à rendre parallèles les rayons convergents issus du point lumineux ; 4° d'une série d'appareils d'optique dont nous ne parlerons pas ici, car nous nous écarterions complétement du sujet qui fait l'objet de cet ouvrage [1]. Nous décrirons seulement la lanterne, parce qu'elle est une conséquence du régulateur électrique.

La lanterne de M. Duboscq se compose d'une espèce de boîte de cuivre bronzé, qui enveloppe la partie supérieure du régulateur. Pour prendre moins d'espace, la colonne de ce dernier appareil est enfermée dans une espèce de cheminée qui termine la boîte, et le pied se trouve au-dessous, entre les quatre colonnes qui supportent la lanterne. Pour que cette boîte ferme hermétiquement, de petits volets mus par des crémaillères viennent fermer le dessus et le dessous de la boîte en même temps qn'on en ferme la porte, de sorte que les coupures faites à l'instrument, pour qu'on puisse y introduire le régulateur, se trouvent bouchées. L'intérieur de cette lanterne est muni d'un miroir réflecteur et de deux tiges plongeantes sur lesquelles peuvent s'adapter deux autres miroirs pour renvoyer la lumière dans les lentilles d'un appareil particulier que l'on adapte à la lanterne pour certaines expériences, et que l'on appelle *polyorama*. Enfin sur le côté de la lanterne se trouve un petit œil-de-bœuf muni d'un verre violet par lequel on examine la marche de la lumière électrique. Afin de régler facilement la position du point lumineux qui, dans certaines expériences délicates, a besoin d'être déterminée d'une manière tout à fait rigoureuse, le régulateur se trouve posé sur un socle qui, au moyen de deux vis de rappel, peut être déplacé dans deux directions rectangulaires (de bas en haut et de côté), comme le miroir des porte-lumières.

Les expériences de projection peuvent être faites à toute

1. Voir ma Notice sur le mode de projection des principaux phénomènes de l'optique à l'aide des appareils de Duboscq.

distance; seulement, elles perdent de leur éclat et de leur netteté quand les distances ne sont pas en rapport avec l'intensité lumineuse : cinq mètres représentent ordinairement la distance la plus convenable pour la lumière d'une pile de cinquante éléments.

Voici la liste des principaux phénomènes de la physique que l'on peut projeter avec les appareils de M. Jules Duboscq :

I. — EXPÉRIENCES POUR LES COURS ÉLÉMENTAIRES.

1. Projection des charbons de la lumière électrique.
2. Renvoi de cette projection au plancher par un miroir, afin de démontrer les effets de la réflexion.
3. Déviation des rayons lumineux par l'effet de la réfraction.
4. Décomposition de la lumière.
5. Recomposition de la lumière décomposée : 1° avec une lentille cylindrique; 2° avec sept miroirs, etc.
6. Coloration produite sur le champ de lumière recomposée, par l'arrêt de l'une ou de l'autre des couleurs du spectre.
7. Renvoi des couleurs complémentaires, à l'aide d'un petit prisme employé pour arrêter les couleurs dans l'expérience précédente.
8. Phosphorescence de certaines substances, telles que le sulfate de quinine dans la lumière violette du spectre ou toute autre lumière violette artificielle.
9. Prolyprisme.
10. Prisme achromatique.
11. Rais du spectre solaire.
12. Rais du spectre, résultant de la fusion des métaux.

II. — EXPÉRIENCES AMUSANTES.

13. Polyorama. — Projections d'images daguerriennes, d'effets de nuit et de jour. — Tableaux astronomiques. — Disque de Newton. — Chromatropes.
14. Microscope photo-électrique ou solaire. — Projection des images amplifiées. — Cristallisations s'opérant à vue. — Arbre de Saturne. — Monstres dans le vinaigre. — Circulation du sang dans la queue d'un têtard. — Circulation de la séve dans la chara.

III. — EXPÉRIENCES POUR LES COURS DE PHYSIQUE TRANSCENDANTE.

15. Expérience de Malus sur la polarisation de la lumière. — Coloration différente de la lumière polarisée.
16. Expérience du docteur Guérard, id., id.
17. Polarisation par réfraction avec les tourmalines.
18. Polarisation par la double réfraction.
19. Expérience d'Arago.
20. Croix de la double réfraction : — 1° Avec un cristal à un axe ; — 2° Avec un cristal à deux axes. — 3° Spirales d'Airy.
21. Hyperboles mobiles.
22. Parallélipipèdes de Fresnel.
23. Polarisation elliptique.
24. Polarisation des lames de chaux taillées avec des épaisseurs différentes.
25. Polarisation du verre trempé ; — du verre comprimé ; — du verre courbé ; — du verre chauffé.
26. Variations subites des couleurs obtenues par les moyens précédents, en plaçant sur le trajet du rayon polarisé un quartz à faces non parallèles.

27. Interférences dans le spectre (expérience de M. Biot).
28. Anneaux de Newton.
29. Id., avec deux systèmes d'interférences.
30. Id., dus à l'insufflation sur un miroir concave.
31. Réseaux par réfraction.
32. Id. par réflexion.
33. Microscope polarisant.
34. Fontaine de Colladon.

IV. — EXPÉRIENCES D'ACOUSTIQUE.

35. Projections des vibrations des cordes, des lames, des plaques, etc., d'après la méthode de M. Lissajoux.

Application de la lumière électrique aux opérations militaires. — L'intensité prodigieuse de la lumière électrique et la facilité qui nous est donnée de pouvoir la faire naître et l'éteindre à volonté à distance, la rendent susceptible d'une application précieuse aux opérations militaires, soit pour fournir des signaux, soit comme moyen d'éclairer à longue distance un point qu'on a besoin de reconnaître pendant la nuit. Nous empruntons, à un très-intéressant mémoire de M. Martin de Brettes sur les artifices éclairants à l'usage de la guerre, les renseignements qui vont suivre :

« Les signaux, dans la guerre de campagne ou celle de siége, dit M. Martin de Brettes, ont pour objet principal la transmission d'ordres ou de dépêches urgentes. D'après cela, il est clair que le meilleur système de signaux lumineux sera celui dont chaque feu se produira avec le plus de simplicité, de certitude, sera vu de plus loin et donnera le plus de régularité à l'apparition des feux combinés pour créer les lignes nécessaires à une correspondance télégraphique.

« D'après la propriété que possède la lumière électrique de pouvoir être aperçue à une distance considérable, on ne

peut contester sa supériorité pour créer un bon système de signaux. Toutefois les fusées pourront, en général et dans les circonstances ordinaires, être employées avantageusement à cause de leur simplicité, du peu d'embarras qu'offre leur transport et de la facilité de leur emploi. Mais quand on aura besoin d'un puissant signal lumineux permanent, la lumière électrique sera d'un secours immense et pourra éviter en campagne l'emploi du ballon captif.

« D'un autre côté, il se présente à la guerre des circonstances où l'on a besoin d'un éclairage d'une durée plus ou moins longue; par exemple :

« Pour reconnaître une fortification, l'assiégeant a besoin de produire un éclairage momentané suffisant à ses projets et pas assez long pour éveiller l'attention de l'assiégé.

« Pour diriger le tir d'une batterie sur un but déterminé, il faut que ce but soit éclairé assez longtemps pour permettre un bon pointage.

« Pour n'être pas surpris lors de l'ouverture de la tranchée, l'assiégé doit éclairer d'une manière continue le terrain où cette opération a des chances d'être exécutée.

« L'éclairage d'un champ de bataille, d'une brèche lors de l'assaut, demandent aussi un éclairage d'une durée indéfinie.

« Ainsi, à la guerre on peut avoir besoin de produire ou un éclairage momentané, ou un éclairage de longue durée, dont la limite est celle de la nuit. Nous avons vu précédemment que l'on pouvait produire, sans difficulté et à volonté, ces deux éclairages avec la lumière électrique, en fermant ou en interrompant le circuit voltaïque.

« Nous allons examiner maintenant les principales circonstances de la guerre où l'éclairage est utile et nécessaire, soit en campagne, soit dans les siéges, et si les moyens d'appliquer la lumière électrique peuvent remplir l'objet qu'on se propose.

« Dans la guerre de campagne, on peut avoir besoin de produire une longue traînée de lumière, par exemple, pour éclairer un chemin dangereux sur le flanc escarpé d'une montagne, le passage d'un pont militaire ou suspendu, d'un gué, etc.

« On atteindra ce but en employant un appareil électrique éclairant avec réflecteur ou lentille, doué d'un mouvement oscillatoire autour d'un axe horizontal, car cet appareil, placé sur un lieu élevé ou au sommet d'un mât, produira un sillon lumineux d'une longueur de plusieurs kilomètres.

« On peut avoir besoin d'éclairer un terrain éloigné, plus ou moins vaste; par exemple : pour reconnaître une position de l'ennemi; s'opposer au passage d'une rivière en empêchant de construire les ponts ennemis; faciliter la construction ou le repliement d'un pont militaire; défendre les abords d'un camp, d'une position fortifiée; reconnaître la position occupée par l'ennemi sur un champ de bataille, afin de prolonger le combat et compléter la victoire, etc.

« Dans ces diverses circonstances, on emploierait l'appareil éclairant, que nous avons représenté fig. 11, pl. IV, auquel on donnerait, soit un simple mouvement autour d'un axe vertical ou horizontal, soit le double mouvement, selon la figure du terrain qu'on se proposerait d'éclairer. Il faut avoir soin de régler l'amplitude des mouvements oscillatoires d'après l'espace à éclairer, sa distance du foyer éclairant, et la hauteur de ce dernier : opérations promptes et faciles.

« Elles deviendront, du reste, le plus souvent inutiles, car, vu la faible hauteur à laquelle l'appareil éclairant sera élevé, le cône lumineux éclairera un terrain enfermé dans une vaste ellipse très-allongée.

« Enfin, il se présente des cas où il est nécessaire d'éclairer un vaste espace autour du foyer lumineux; par exemple, pour établir de nuit un camp, un parc d'artillerie,

faire prendre les armes la nuit, soit pour lever le camp, soit pour le défendre contre une attaque nocturne et imprévue, toujours dangereuse à cause du désordre qui se manifeste, etc.

« Dans toutes ces circonstances, l'appareil lumineux doué du double mouvement de rotation, placé au sommet d'un mât, remplira toujours, avec avantage et certitude, les vues du général.

« Quand on emploiera en campagne les moyens d'éclairage hors de la présence de l'ennemi, ils produiront toujours avec certitude les effets désirés.

« En présence de l'ennemi, on pourrait craindre qu'ils ne fussent très-exposés à être détruits et, par conséquent, rendus inutiles. Nous pensons qu'il serait facile de les soustraire à cet inconvénient. Nous ferons remarquer d'abord, que ces appareils présentent un très-petit but à cause de leur petit volume, ce qui diminue déjà considérablement les chances de destruction; ensuite, que l'ennemi sera en général à une distance assez grande, ce qui les diminuera encore; enfin, qu'en général on pourra les éloigner assez de l'ennemi, sans se priver de leur lumière, à cause de la grande distance à laquelle ils peuvent éclairer suffisamment.

« Dans les cas, très-particuliers, où l'appareil éclairant serait assez rapproché de l'ennemi pour être exposé, on pourrait adopter pour le défendre, entre autres moyens, un des suivants : on emploierait, pour éclairer un espace déterminé, la lumière produite successivement par divers appareils dans lesquels elle paraîtrait et disparaîtrait dans un ordre très-variable, afin de diviser l'attention de l'ennemi et rendre ses coups incertains. On augmenterait encore cette incertitude en les changeant fréquemment de place. Ce jeu de lumière peut être produit sans difficulté et avec régularité par une seule pile mise alternativement en communication avec un conducteur de chaque appareil.

On pourrait même, si les appareils étaient trop exposés, les mettre sur le sol où ils seraient parfaitement en sûreté. En les plaçant de manière que le réflecteur dirigé en l'air eût un mouvement oscillatoire et de rotation autour de la verticale, on produirait un éclairage suffisant et très-utile dans beaucoup de circonstances, entre autres, pour la défense d'un camp contre une attaque nocturne et imprévue.

« En général, dans ce cas, et il n'en peut être autrement, le désordre, la confusion causent autant de mal que le fer de l'assaillant; tandis qu'en disposant d'avance les appareils, et il ne faut qu'un instant, ces désordres ne sont plus possibles; car, à un signal donné par le général, le camp serait éclairé entièrement, de manière que les défenseurs pourraient immédiatement prendre leur place de bataille.

« On pourrait penser que ces moyens d'éclairage occasionneraient un accroissement considérable dans le poids du matériel de guerre, déjà si énorme. Mais si l'on observe qu'il suffira de transporter une ou deux piles par division et quelques centaines de kilogrammes de fils conducteurs, de zinc et d'acide sulfurique, pour produire, quand on en aura besoin, un éclairage puissant et sûr, tandis qu'aujourd'hui, avec un poids de matière plus considérable et plus embarrassant, on n'obtiendrait, par des manipulations plus ou moins longues, que des artifices éclairant faiblement et sur l'effet desquels on ne pourrait compter; on sera probablement conduit à reconnaître les avantages présentés par l'éclairage électrique en campagne.

« Nous n'avons pas parlé de l'éclairage aérien en campagne, parce que le temps nécessaire pour remplir le ballon manquerait quelquefois, et que, en général, on peut se passer de ce moyen plus compliqué que l'éclairage ter-

restre, généralement suffisant. Cependant, comme le transport d'un ballon plié ne cause aucun embarras, il serait bon d'en emporter pour s'en servir dans quelques circonstances spéciales : par exemple, pour éclairer un champ de bataille quand l'arrivée de la nuit fait cesser le combat et empêche de compléter la victoire par la déroute de l'ennemi.

« Dans la guerre de siéges, l'éclairage, comme on l'a vu précédemment, joue un rôle bien plus important encore, et, cependant, il est loin d'avoir atteint le degré d'importance qu'il pourrait avoir, surtout pour la défense des places.

« Dans l'attaque des places, l'emploi des artifices éclairants est presque nul; cependant ils pourraient rendre de grands services, par exemple : pour reconnaître la fortification, servir à diriger les tranchées, à pointer les pièces des batteries à ricochet sur le but à battre, etc. La principale cause de cet abandon des effets lumineux consiste dans le peu d'efficacité des artifices actuels, et l'impossibilité de produire les effets nécessaires pour être utiles.

« Pour reconnaître une fortification, on emploierait avec avantage une lumière produite par un foyer lumineux éloigné de la place et capable de projeter sa lumière sur les ouvrages à reconnaître. Dans ce cas, il faudrait porter la lumière successivement sur les différentes parties de la fortification, et en régler la durée à volonté, selon les circonstances.

« Alors, les officiers chargés des reconnaissances verraient parfaitement ce qu'il leur est nécessaire de connaître, et sans danger, car ils seraient dans l'obscurité.

« Un simple appareil électrique, placé au sommet d'un mât, à 1,000 mètres de la place, et plus, remplirait cet objet, en orientant convenablement le réflecteur.

« Jusqu'ici on n'avait aucun moyen d'obtenir ce résultat

important; de sorte que la reconnaissance des places, qui se faisait le matin ou le soir, a été regardée comme une des opérations les plus dangereuses; aussi ne pouvait-elle être faite en général que très-imparfaitement.

« Il arrive fréquemment dans les siéges, et il n'en peut guère être autrement, qu'on donne aux tranchées de fausses directions. Il serait facile d'éviter cet inconvénient grave : il suffirait, pour cela, d'éclairer de temps en temps les saillants des ouvrages dont on doit se défier. Cet éclairage, qui devrait être momentané et réglé selon les circonstances, tout en rendant de grands services, n'offrirait aucun danger à cause de sa faible durée.

« Avec l'appareil éclairant électrique, il serait facile de produire ces résultats avec certitude et sans danger pour l'assiégeant.

« Enfin, quand l'ennemi aura établi ses batteries dans la seconde parallèle, en dirigeant l'appareil électrique de manière à éclairer la fortification et en laissant les batteries dans l'ombre, on assurera le tir de nuit sans exposer ces dernières au feu de la place.

« Ce résultat pourrait être obtenu au moyen d'un appareil placé sur un mât; mais en général on évitera difficilement d'éclairer les travaux en avant, ce qui serait dangereux pour eux. Cependant on pourrait éviter cet inconvénient en plaçant constamment l'appareil à une petite distance en arrière des travailleurs, mais alors il serait très-exposé à être détruit par l'assiégé, s'il ne changeait fréquemment de place, et n'éclairait pendant des temps très-courts.

« Dans la défense des places, l'emploi des artifices éclairants est très-ancien, et fortement recommandé comme un puissant auxiliaire. Cet éclairage doit avoir lieu depuis les plus grandes distances jusqu'au pied de la brèche, cependant il n'offre pas la même importance aux diverses distances, comme nous le verrons.

« La plus grande distance à laquelle on a pu éclairer jusqu'ici, et encore imparfaitement, est celle de six cents mètres environ vers l'emplacement habituel de l'ouverture de la tranchée. Tout le terrain au delà ne pouvait être vu, de sorte que l'ennemi établissait à volonté ses communications entre son dépôt de tranchée et la première parallèle. Avec la lumière électrique, au contraire, on pourra éclairer le terrain jusqu'à son dépôt de tranchée, et il ne pourra faire aucun mouvement sans être reconnu.

« Le terrain situé entre la place et le dépôt de tranchée peut être éclairé, soit par zones successives, de plus en plus rapprochées à mesure que l'ennemi occupe des positions de plus en plus avancées; soit simultanément si on le juge convenable.

« Il n'y a aucune difficulté à produire l'un ou l'autre de ces éclairages; il suffit de donner à l'appareil un mouvement de rotation ou d'oscillation simple ou double, comme on l'a déjà vu. Les considérations particulières guideront dans le choix du mode d'éclairage qu'on pourra, du reste, changer à volonté en modifiant le mouvement de l'appareil éclairant.

« Avec un ballon captif portant un appareil éclairant à mouvement alternatif autour d'un axe vertical, on pourra éclairer une large et longue zone de terrain qui comprendra le dépôt de tranchées s'il est nécessaire. De cette manière, aucun préparatif, aucun mouvement de troupes ne pourra s'exécuter sans que l'assiégé n'en soit instruit aussitôt, de sorte qu'il ne sera pas surpris lors de l'ouverture de la tranchée.

« Quant aux points où l'ennemi voudra l'ouvrir, on pourra les reconnaître par la direction que prendront les colonnes sortant du dépôt pour s'y rendre; car les troupes seront obligées de traverser une longue zone de lumière. D'ailleurs on pourrait éclairer une large zone de terrain en

avant des parties de l'enceinte où l'ouverture de la tranchée est possible, ou même probable, de sorte que l'ennemi ne pourrait paraître sans être aperçu aussitôt.

« Un ballon captif portant un appareil éclairant, suffira pour cet objet, surtout dans les petites et moyennes places, et en général dans celles qui ne sont pas exposées à deux attaques isolées. Si un appareil aérien était insuffisant, on en emploierait plusieurs, ou on se servirait simplement d'appareils terrestres placés sur des points élevés et réglés, de manière à ce que leur lumière éclairât de larges et longues zones de terrain.

« Avec ces dispositions, il sera presque impossible à l'assiégeant de dérober à l'assiégé la connaissance de la nuit et du lieu de l'ouverture de la tranchée. Ce dernier sera donc toujours prêt à s'opposer à cette opération périlleuse, laquelle deviendra alors beaucoup plus meurtrière, car l'assiégeant sera obligé de travailler sous une vive lumière qui donnera probablement aux feux de la place une justesse et une efficacité suffisantes pour le forcer de renoncer à son entreprise ou, s'il y persiste, lui fera payer sa persévérance par des pertes considérables.

« La tranchée ouverte, il est inutile d'éclairer le terrain au delà : il faut, au contraire alors, concentrer l'éclairage entre cette première parallèle et la seconde, c'est-à-dire sur une zone d'une largeur moyenne de 300 mètres.

« Un seul appareil aérien suffira à cet objet, à moins de deux attaques isolées, auquel cas il en faudrait généralement deux. En l'élevant à une hauteur de 500 à 1,000 mètres, il sera à l'abri des projectiles ennemis. Rien n'empêcherait, du reste, de l'élever plus haut sans nuire à l'éclairage, si on le croyait exposé. On pourra donc toujours faire en sorte que l'appareil éclairant soit en sûreté.

« Les cheminements seront très-dangereux à cause de la

lumière qui les éclairera, et, par conséquent, avanceront lentement.

« Le terrain sur lequel on établit la seconde parallèle et les premières batteries étant parfaitement éclairé, l'exécution de cette ligne, et surtout la construction des batteries, deviendront très-meurtrières pour les travailleurs, de sorte que la durée ordinaire, qui est de trente-six heures, deviendra indéfinie.

« Quand les batteries seront construites et auront ouvert leur feu, on continuera de les éclairer, afin de pouvoir diriger des coups assurés pour les endommager et les détruire s'il est possible ; mais, en même temps, on devra éclairer le terrain en avant jusqu'à la troisième parallèle, pour contrarier et ralentir la marche des cheminements. Il faudra alors rapprocher de la place la zone à éclairer.

« Quand la troisième parallèle sera faite, les batteries ne pourront plus tirer ; alors on concentrera l'éclairage entre cette parallèle et le saillant des chemins couverts des demi-lunes, afin de s'opposer, au moyen de l'artillerie de la place, qui reprend alors de la supériorité sur celle de l'assiégeant, à la marche des sapes pleines. Ce résultat serait déjà très-important, si on ne pouvait les arrêter complétement, ce qui est admis comme possible par les traités spéciaux, entre autres, l'*Aide-Mémoire*[1]. Dans tous les cas, l'assiégeant avancera très-lentement et avec de grandes pertes jusqu'à l'emplacement des cavaliers de tranchée, dont la construction sera très-longue, très-dangereuse, et ne se terminera qu'à force de sacrifices.

« Après la construction des cavaliers de tranchée, il faudra concentrer l'éclairage dans l'angle formé par les deux demi-lunes attaquées.

« L'appareil aérien à double mouvement, réglé de ma-

1. *Aide-Mémoire d'artillerie*, 1844, p. 359.

nière à embrasser le terrain compris dans cet angle, remplira parfaitement cet objet; sa hauteur et sa situation reculée au-dessus de la ville le mettront hors de l'atteinte des projectiles ennemis.

« Ainsi, avec l'appareil aérien on pourrait éclairer le terrain depuis le dépôt de tranchée jusqu'aux chemins couverts, par zones successives.

« L'éclairage simultané de toutes les parties du terrain compris entre le dépôt de tranchée et la place, n'offrirait pas de difficulté; il suffirait d'employer un appareil aérien à double mouvement.

« Ce mode d'éclairage serait dans quelques circonstances plus défavorable qu'avantageux, car il pourrait empêcher les assiégés de manœuvrer sur les glacis et aux environs de la place.

« Il nous reste enfin à nous occuper de l'éclairage depuis le couronnement des chemins couverts jusqu'aux brèches.

« A partir de ce moment, l'éclairage aérien peut être avantageusement remplacé par des appareils terrestres, dont il est plus facile de diriger l'emploi selon le but à atteindre. Le but le plus important devient l'éclairage des fossés, principalement vers les endroits où le débouché des descentes est probable. On pourrait employer diverses dispositions; celle qui nous paraît une des plus sûres, consisterait à disposer dans l'arrondissement de la contrescarpe, vis-à-vis du saillant, un appareil à réflecteur qui serait logé dans l'épaisseur de la maçonnerie, et mis en communication avec la place par un conducteur métallique. Ce foyer, complétement à l'abri des coups ennemis, remplirait probablement très-bien l'objet proposé. On pourrait conserver ce moyen d'éclairage pour le moment où l'ennemi débouche dans le fossé, et employer auparavant des appareils éclairants placés au fond du fossé, à l'abri des coups ennemis, de manière à éclairer le mieux possible.

« Le pied de la brèche serait éclairé avec des sacs ou des barils remplis de composition de lance à feu et de copeaux de bois goudronnés qu'on laisserait rouler après les avoir allumés.

« Ainsi, au moyen d'appareils électriques on pourrait obtenir un éclairage satisfaisant à toutes les conditions nécessitées par les opérations d'un siége jusqu'à la brèche, ce qui, jusqu'ici, n'a pu être obtenu.

« Au lieu d'employer les appareils aériens, on pourrait se servir d'appareils terrestres placés sur des points élevés, tels que des mâts, des maisons, des clochers, etc.

« Tant qu'on éclairerait à de grandes distances, il n'y aurait rien à craindre pour la sécurité de ces appareils, mais aux petites il n'en serait plus ainsi. Nous ferons remarquer que dans les siéges on pourra toujours placer les appareils éclairants de manière qu'ils n'aient rien à craindre. On admettra sans peine cette assertion, si on remarque que les maisons les plus rapprochées de la courtine, et par conséquent les mieux placées pour servir à l'établissement d'un foyer éclairant, sont déjà à plus de trois cents mètres des saillants des chemins couverts des demi-lunes, et que rien ne sera plus facile en général que de reculer l'appareil électrique de plusieurs centaines de mètres, s'il est nécessaire.

« Du reste, en supposant qu'il ne fût pas possible d'éloigner assez l'appareil éclairant pour le garantir contre les coups ennemis, on recourrait à d'autres moyens pour remédier à cet inconvénient. On pourrait, par exemple : soit changer fréquemment de place l'appareil éclairant, grâce à sa mobilité ; soit employer plusieurs appareils éclairants disposés de manière que chacun éclairât peu de temps, à tour de rôle, et cessât d'éclairer aussitôt qu'un autre s'allumerait pour le remplacer. Il y en aurait ainsi toujours un qui éclairerait, de sorte que malgré les changements mul-

tipliés de foyers éclairants, on obtiendrait un éclairage continu.

« Ce changement fréquent des foyers lumineux, éclairant chacun pendant quelques instants seulement, fera que l'ennemi ne saura où diriger ses coups, et cette incertitude protégera les appareils éclairants. La sécurité de ceux-ci sera encore augmentée si on combine cette disposition avec les déplacements fréquents des foyers lumineux.

« On pourrait produire, avec simplicité et certitude, ces changements multipliés des foyers lumineux, en adoptant la disposition suivante :

« On mettrait tous les appareils éclairants en communication avec les pôles d'une même pile, qui produirait la lumière avec chacun d'eux lorsqu'on fermerait le circuit correspondant. En interrompant ce dernier, la lumière cesserait aussitôt. De sorte qu'on obtiendrait ainsi la lumière avec chaque appareil, ou on la ferait disparaître à volonté.

« On réaliserait ces changements successifs, ou mieux ces jeux de lumière dont les combinaisons pourraient être multipliées autant qu'on voudrait, au moyen d'un clavier analogue à celui d'un piano, disposé de manière que chaque touche, selon qu'elle serait dans l'état ordinaire ou abaissée, interrompît ou fermât le circuit magnétique passant par un foyer correspondant.

« Cette disposition, facile à exécuter, donnerait le moyen de combiner à volonté les apparitions de lumière, leurs disparitions, leur durée, en un mot, de moduler, pour ainsi dire, des feux avec cette espèce de piano pyrogénique.

« Malgré toutes les précautions qu'on pourra prendre, il est probable que quelques appareils seront détruits, mais le remplacement des pièces hors de service n'offrira aucune difficulté avec l'usage traditionnel dans l'artillerie d'avoir toujours des pièces de rechange.

« En résumé, les propriétés remarquables de la lumière électrique, les principes proposés pour l'appliquer, et les aperçus généraux sur les modes d'application, paraissent satisfaire aux exigences de l'éclairage militaire ; ce qui donne ainsi le moyen de réaliser les avantages précieux attribués aux artifices éclairants dans la guerre de campagne et surtout dans celle de siéges.

« La marine pourrait employer aussi utilement la lumière électrique, soit pour les signaux, soit pour éclairer l'entrée d'un port, soit pour empêcher les abordages pendant la nuit, soit pour reconnaître une flotte, soit pour éclairer pendant la nuit les vaisseaux ennemis à combattre, etc.

« En un mot, il est permis d'espérer que la lumière électrique est appelée à rendre, dans un avenir prochain, de grands services à la guerre et à la marine. Nous sommes loin d'espérer d'avoir complétement résolu le beau et difficile problème de l'éclairage électrique. Livré à nos propres ressources, nous n'avons pu qu'ouvrir la voie et indiquer des solutions théoriques. »

Application de la lumière électrique à la navigation. — Les tristes et lamentables récits d'abordages qui ont eu lieu en mer, depuis quelques années, entre des vaisseaux à vapeur parcourant la même route, sont plus éloquents que nous ne saurions l'être pour démontrer l'importance de la lumière électrique employée comme fanal à bord des navires, afin de signaler leur présence en mer pendant la nuit. Outre que la lumière fournie par les fanaux ordinaires peut être confondue avec mille autres lumières établies en différents points des côtes, elle est loin d'avoir une intensité suffisante pour percer les brouillards et même la pluie.

Avec la lumière électrique projetée à l'aide d'une lentille, au contraire, ce double inconvénient n'existe pas, et on peut l'utiliser encore à éclairer de loin la route que doit

parcourir le navire. Combien de fois ai-je vu des bateaux à vapeur battre toute une nuit la mer, parce qu'on n'y voyait pas assez pour entrer dans le port, devant lequel on était pourtant arrivé! Pour peu qu'un port ait une entrée difficile et que la mer soit un peu grosse, les entrées de nuit sont en effet impossibles avec les fanaux ordinaires. Avec l'éclairage électrique il n'en est plus ainsi, et, comme on peut parfaitement projeter une lumière très-vive à une distance plus grande qu'un quart de lieue, on peut contourner toutes les sinuosités des passes presque comme en plein jour.

Le même avantage peut être appliqué à la navigation de rivière. Ainsi, il est certains fleuves qui présentent, en un ou plusieurs points de leur cours, des passages si difficiles que si les navires arrivent devant eux pendant la nuit, ils sont obligés d'attendre jusqu'au lendemain pour reprendre leur route. Le Danube, entre Lintz et Vienne, présente un passage de ce genre. Ne serait-il pas alors plus avantageux que les navires eussent un appareil de projection de lumière électrique qui leur permît d'affronter la difficulté sans être obligés de s'arrêter?

Pour obtenir la lumière électrique à bord des navires à vapeur, on peut procéder de deux manières : soit avec la pile, comme à l'ordinaire; soit avec les grandes machines magnéto-électriques, dont nous avons parlé page 361, 1er vol. Dans ce dernier cas, la production de l'électricité n'est plus une dépense, puisqu'on a un moteur tout installé à sa disposition et que l'on peut aisément distraire de l'action produite par ce moteur une force d'un cheval qui est plus que suffisante pour faire marcher la machine. On a encore l'avantage avec ce système de pouvoir produire l'électricité sans manipulation et instantanément, puisqu'il ne s'agit que d'un simple engrènement de poulies à effectuer. Nous avons vu qu'un régulateur de Duboscq, appliqué à cette

machine, suffisait pour produire une bonne lumière.

En employant le courant de la pile, il faudrait que celle-ci fût disposée dans le système de MM. Jedlick et Csapo, et qu'elle fût placée sur un établi basculant fixé sur le navire comme les hamacs, sans quoi tous les acides se mêleraient et se renverseraient.

On peut encore utiliser la lumière électrique à bord des navires pour l'envoi des signaux télégraphiques, comme nous l'avons expliqué précédemment à l'occasion des signaux lumineux employés à la guerre; mais on a proposé dernièrement dans ce but un nouveau système, bien préférable, que nous étudierons dans le prochain chapitre, et qui est également une application électrique.

Application de la lumière électrique pour l'éclairage des phares. — On a proposé, depuis longtemps, d'appliquer la lumière électrique à l'éclairage des phares; mais cette application, comme beaucoup d'autres très-bonnes, est restée à l'état de proposition. Il est facile, cependant, de comprendre qu'un foyer de lumière aussi puissant serait bien autrement visible et s'apercevrait de beaucoup plus loin que la faible lumière fournie par une lampe à huile, dont l'entretien est presque aussi cher que le serait l'éclairage électrique. On a prétendu que, pour que la lumière pût être projetée en quantité suffisante par les lentilles de phare, il fallait que son foyer présentât un certain développement, développement que ne pouvait fournir un foyer de lumière électrique, puisque celui-ci était réduit à un point; je n'opposerai pas de raison théorique à cet argument, mais je ferai simplement observer que M. Archereau a longtemps expérimenté la lumière électrique produite par son régulateur avec une lentille de phare, et que la projection de cette lumière était infiniment plus forte que celle de toutes les lampes à huile réunies, eussent-elles formé une mèche de dix centimètres de diamètre.

Dans le but d'éviter, pour les phares à feux intermittents, le mouvement communiqué à la cage portant les lentilles, mouvement qui nécessite un mécanisme d'horlogerie très-puissant, M. Petrie s'est imaginé de construire un régulateur de lumière électrique fournissant lui-même les intermittences à des périodes réglées d'avance; malheureusement la description du mécanisme employé dans ce but n'a pas été publiée, et les renseignements qui me sont parvenus ne sont pas assez complets pour que je me hasarde à le faire. Quant au régulateur, il est le même que celui de M. Foucault, qu'il a précédé, ainsi que nous l'avons dit au commencement de ce chapitre.

Bouées lumineuses. — M. Prosper Miller, de Bordeaux, dans une lettre écrite à l'*Ami des Sciences*, prétend que les phares existant ne sont pas suffisants pour prévenir les naufrages, et qu'il serait à propos d'établir, en bien des points de la côte où ces phares ne sont pas établis, des bouées lumineuses placées sur le point même où existe le danger. De cette manière, on pourrait éclairer ou signaler depuis la côte, les rochers, les bancs de sable, les *bas-fonds*, etc. Cette bouée, maintenue à certaine distance de la côte, devrait être surmontée d'un mât à l'extrémité duquel se verrait le foyer de lumière électrique.

« Cette espèce de phare, dit M. Miller, fonctionnerait à la volonté d'un gardien placé sur le rivage pour produire et régulariser l'électricité, qui serait transmise par des fils submergés.

« La puissance de la lumière électrique la rend préférable à celle du gaz pour cette application; mais les deux lumières employées concurremment augmenteront la puissance de l'appareil et procureront d'importants avantages. Le gaz pourrait être allumé depuis la côte par l'électricité. »

Application de la lumière électrique à la pêche. — « La mer est inépuisable et ses poissons aussi, dit M. Jobard.

Quand il n'y aurait plus de viande ni de pain, la mer pourrait nourrir la terre..... Il ne s'agit que de savoir prendre le poisson aisément, promptement, abondamment..... Mais nos engins de pêche sont ridicules..... Il est temps que l'électricité remplace tous ces instruments enfantins. On fera descendre au fond de l'eau un globe de verre épais, muni de deux charbons de lampe électrique, et occupant le milieu d'un grand filet; par deux tubulures, fermées de bons bouchons, on fera passer deux fils de cuivre revêtus de gutta-percha, aboutissant à une grande pile électrique installée sur une barque. On ferme le courant; une lumière brillante jaillit au fond de la mer; les poissons accourent de plus d'un quart de lieue; on les voit évoluer comme des alouettes autour de cette lumière magique; on les compte, et, quand la charge est suffisante, on donne le signal de relever; les barques se rapprochent et ramènent une pêche vraiment miraculeuse..... Il n'est pas même besoin d'un globe; il suffit de deux pointes de charbon excitées par la pile..... »

« Nous sommes désolés, dit maintenant M. l'abbé Moigno, d'avoir à apprendre à MM. Scipion Dumoulin et Jobard qu'ils sont volés, ou, mieux, qu'ils nous ont volés. Il y a plus de deux ans que nous avons conçu et que nous avons exécuté leur idée, mais non pas, certes, leur pêche miraculeuse. A la demande d'un nabab anglo-français, M. Hoppe, nous avons fait construire par M. Jules Duboscq le grand globe foyer de lumière électrique, et nous l'avons expérimenté sur le lac d'Enghien, un beau soir d'été. Les eaux étaient parfaitement éclairées; mais, circonstance très-aggravante, au lieu de venir vers la lumière, comme cela aurait eu lieu peut-être si la lampe électrique avait brillé en dehors et au-dessus de l'eau, les poissons effrayés s'enfuyaient; pas un n'a montré sa queue, de sorte que l'appareil n'a pas pu servir à sa destination; nous le tenons à

la disposition des amateurs. Nous songions même alors, non pas seulement à la pêche, mais à la chasse miraculeuse. M. Hoppe était las de massacrer à coups de fusil les milliers de faisans de ses parcs anglais; la vue du sang le dégoûtait. Nous lui proposâmes d'installer, sur un tilbury de chasse, une pile et un globe de lumière électrique ; de conduire ce char tour à tour au pied des arbres où les faisans perchaient; éblouis par cette lumière, coqs et poules se seraient précipités sur le char : M. Hoppe, avec ses valets, les auraient étouffés entre leurs bras. »

Application de la lumière électrique à l'éclairage des galeries de mines. — Plusieurs savants, et, entre autres, MM. de la Rive, Boussingault et Louyet, ont revendiqué l'idée première de l'application de la lumière électrique aux travaux des mines. Ce qui paraît certain, c'est que si cette idée appartient à M. Louyet, comme cela me semble prouvé, l'application n'en a été faite qu'en 1845, par M. Boussingault.

Tout le monde sait le danger que courent les mineurs, lorsqu'un jet de gaz hydrogène, venant à se faire jour à travers les couches de terre, rencontre la flamme des différentes lampes qui éclairent les galeries de mines. Une détonation effrayante se fait entendre, et toute la galerie est mise en feu. Ces funestes accidents sont connus sous le nom de *feu grisou*. Or, la lumière électrique pouvant se produire sans renouvellement d'air, puisqu'elle peut se manifester même dans le vide, on comprend qu'il suffira de renfermer chaque foyer lumineux avec un régulateur dans des globes hermétiquement fermés, que l'on placera dans les différentes galeries où sont les travailleurs. Toutefois, il faudra que le vide soit fait dans ces globes, car la chaleur, en dilatant l'air qui s'y trouverait renfermé, pourrait les faire éclater. Dès lors, il n'y a plus à craindre

le moindre danger, puisque ces foyers lumineux sont alors complétement séparés de l'air extérieur.

Application de la lumière électrique aux travaux sous-marins. — Depuis que les cloches à plongeurs, et différents autres appareils propres à entretenir la respiration sous l'eau, ont permis de travailler au fond de la mer, plusieurs genres de travaux hydrauliques et de nombreux sauvetages de navires naufragés ont pu être exécutés avec facilité. Quand la profondeur d'eau à laquelle on doit s'enfoncer n'est pas considérable, la lumière du jour peut aisément traverser la couche liquide et éclairer suffisamment les travailleurs; mais, à une certaine profondeur, le jour manque, et les explorations sous-marines, qui doivent toujours précéder les travaux, deviennent impossibles. Sans doute, en adaptant à une lanterne des appareils pour renouveler l'air, on pourrait entretenir une lumière comme on entretient la respiration des hommes; mais cela nécessite une pompe supplémentaire et tout un système particulier pour empêcher le courant d'air d'éteindre la lumière. Avec la lumière électrique, le problème peut être résolu de la manière la plus simple, et l'étendue de l'espace éclairé est beaucoup plus considérable. On peut, pour cela, employer le système de globe à régulateur, dont nous avons parlé précédemment, ou un régulateur particulier pour fournir directement la lumière à travers l'eau. Cependant, comme la lumière produite dans ce dernier cas est beaucoup plus difficile à gouverner que dans le vide, le premier moyen est bien préférable.

Application de la lumière électrique aux reproductions photographiques. — Pour les photographies à effets énergiques et combinés, la lumière électrique a pu être d'un grand secours et suppléer avec avantage au soleil. Ce moyen a été employé par plusieurs photographes, et il a toujours admirablement réussi. M. J. Duboscq est même parvenu à

reproduire en photographie, avec l'aide de son régulateur et de ses appareils photo-électriques, des objets microscopiques de très-petites dimensions, et quelques-unes des images fournies par des effets de polarisation. Ce système de reproduction a pu être d'un grand secours pour les ouvrages d'histoire naturelle qui ont été récemment publiés par différents savants.

Si, comme l'affirme le journal *Of the Society of Arts* de Londres, M. Thompson de Weymouth a pu obtenir une image fidèle du fond de la mer par des procédés photographiques, à une profondeur de six mètres, on comprendra de quelle importance pourra être le système d'éclairage électrique, combiné à ce nouveau procédé, pour fournir une topographie exacte du fond de la mer.

Voici, du reste, comment M. Thompson a disposé son expérience : Il plaça la chambre noire dans une boîte à plaques de verre à laquelle était adapté un volet mobile facile à enlever lorsque la boîte aurait atteint le fond. Cette chambre, dont le foyer avait été réglé à terre pour des objets sur le premier plan, à environ dix mètres ou toute autre distance convenable, fut descendue d'un bateau au fond de la mer, emportant avec elle la plaque de collodion préparée par la méthode ordinaire; lorsque la boîte fut arrivée au fond, on enleva le volet au moyen d'une corde, et la plaque resta exposée pendant environ dix minutes. On remonta alors la boîte dans le bateau, et l'on développa l'image comme à l'ordinaire; c'est ainsi qu'on prit une vue des roches et des herbes qui sont au fond de la baie de Weymouth.

L'expérience précédente n'ayant été faite qu'à une petite profondeur, n'a pas exigé l'intervention de la lumière électrique; mais il n'en aurait pas été de même si l'épaisseur de la couche liquide eût été beaucoup plus grande, de sorte que l'on peut considérer la lumière électrique comme le

complément indispensable de cette nouvelle et ingénieuse invention.

Pour comprendre toute la portée de cette application, il nous suffira de dire que, par les données qu'elle est susceptible de fournir, tous les travaux hydrauliques peuvent être combinés directement par les ingénieurs, comme s'ils devaient être exécutés à la surface du sol. Les ingénieurs pourront même, avec la plus grande facilité, s'assurer des points où ces constructions pourront être le mieux et le plus solidement établies. Le géologue et l'alguéologue pourront y trouver des sujets nouveaux dignes de leurs études. Enfin, on pourra savoir ce qu'il y a au fond de cette mer, encore si peu connue dans ses profondeurs.

Application de la lumière électrique aux travaux de nuit. — Depuis quelques années, on a fréquemment appliqué la lumière électrique aux travaux de terrassement et de maçonnerie, pour suppléer à l'absence du soleil pendant les jours si courts de l'hiver. Ce moyen a parfaitement réussi, et, d'après le calcul des ingénieurs, il n'augmentait guère que de cinq centimes la journée de chaque ouvrier. Ainsi que nous l'avons dit, page 101, 1er vol., ce système d'éclairage a été employé à Paris pour les travaux du nouveau Louvre, pour ceux du pont Notre-Dame, pour le déblaiement des docks Napoléon, enfin pour les travaux faits au Palais de l'Industrie au moment de la distribution des récompenses pour l'exposition de 1855. Ce dernier éclairage, fait par M. Duboscq, a duré treize heures consécutives, et il s'est toujours soutenu pendant ce temps avec la même activité.

Une lampe électrique avait été placée à chacune des deux extrémités de la nef, et chaque lampe était mise en action par une pile formée de cent éléments de Bunsen. La première de ces lampes a marché de cinq heures à dix heures et demie du soir; la seconde, de dix heures et demie à trois

heures du matin, et de trois à six heures. On a ensuite réuni les deux lampes, pour les faire fonctionner ensemble en envoyant parallèlement leurs rayons.

Lorsque le jour parut, la lumière était encore dans toute son intensité. Il est à regretter qu'on n'ait pas prolongé davantage encore la marche des deux appareils, afin de constater par expérience le temps pendant lequel ils pourraient fonctionner sans affaiblissement de lumière. Toutefois l'intervalle de treize heures, pendant lequel la lampe électrique de M. Duboscq a éclairé sans interruption, est le plus long que l'on ait encore obtenu depuis que la lumière électrique est mise à contribution pour les travaux de nuit.

« Ce résultat est d'autant plus satisfaisant, dit M. Figuier, que, dans l'expérience que nous venons de rapporter, l'appareil éclairant était placé à une distance de 260 mètres de la pile voltaïque, condition qui ne peut être que défavorable. Il n'est résulté de cet éloignement aucun changement dans l'intensité de la lumière, ce qui fait espérer que l'on pourrait porter plus loin encore la distance entre la pile et les charbons éclairants. »

M. Duboscq a fait usage d'un artifice fort simple pour prolonger le temps de l'expérience. Comme les charbons finissent par s'user et par disparaître en entier au bout d'un certain temps, il dispose deux appareils sur le même fil. Quand les charbons du premier appareil sont usés, on fait passer le courant de celui-ci dans l'autre, au moyen d'un commutateur, et on replace des charbons neufs à la place des charbons usés, sans qu'il y ait pour cela interruption dans l'éclairage.

Application de la lumière électrique aux représentations théâtrales et aux fêtes publiques. — Ce genre d'application est une des premières qu'on ait faites de la lumière électrique. Depuis les représentations de *la Lampe merveilleuse*

jusqu'à celles du *Prophète*, de *la Filleule des Fées*, du *Corsaire*, des *Elfes*, etc., etc., nous avons tous pu voir la part remarquable que l'art du décorateur a su en tirer. Les clairs de lune surtout sont toujours merveilleusement rendus.

Si la lumière électrique a pu produire de merveilleux effets au théâtre, il n'en est pas de même de l'application qu'on a voulu en faire à l'éclairage des bals et des fêtes. Un bal ainsi éclairé a été donné, il y a longtemps, au Jardin-d'Hiver, et l'effet en a été complétement manqué. L'éclat trop éblouissant de cette lumière, la lueur blafarde et bleuâtre qui l'accompagne et qui n'est pas à l'avantage des objets éclairés, surtout quand ces objets sont de jolies femmes, feront toujours repousser ce système d'éclairage, quand bien même son prix de revient ne dépasserait pas celui de la lumière des bougies. Ainsi, si l'on veut employer la lumière électrique dans les fêtes, il faut qu'elle n'intervienne que comme effet de tableau, par exemple en la faisant apparaître sous de beaux ombrages et au milieu des fleurs. Alors, elle produit un effet véritablement fantastique.

II.

APPLICATIONS DES EFFETS CALORIFIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

Inflammation des mines. — Les nombreux accidents dont sont malheureusement si souvent accompagnées les explosions des mines quand on les fait partir par les procédés ordinaires, ont fait rechercher depuis longtemps un système d'inflammation à distance, moins dangereux et en même temps plus sûr. Ces accidents peuvent provenir de trois causes : 1° du défaut de soin des ouvriers qui, malgré les ordres qu'on leur donne, bourrent souvent les mines

avec des leviers en fer; 2° de la prompte inflammation de la fusée qui ne leur laisse pas le temps suffisant pour s'éloigner; 3° du retard trop considérable apporté à l'inflammation de cette fusée. De ces trois causes, la dernière est celle qui amène le plus d'accidents; car, comme on fait en général partir plusieurs mines à la fois, on ne peut guère savoir à un instant donné si elles ont toutes fait explosion, et il peut arriver qu'une ou plusieurs d'entre elles se trouvent en retard. Dans ce cas, les ouvriers qui ont abandonné leur abri pour reprendre leur travail, se trouvent considérablement exposés. La solution du problème de l'inflammation des mines doit donc être telle que le moyen employé pour les faire partir à distance (500 mètres environ), n'entraîne pas avec lui une cause secondaire d'inflammation.

On a bien, à diverses reprises, cherché le moyen d'appliquer à cet usage l'action calorique des courants électriques; car on sait qu'un fil très-fin de fer ou de platine réunissant les deux branches d'un circuit de grosse section, rougit et même se brûle sous l'influence du courant. Mais il faut, pour obtenir ce résultat, de gros conducteurs et une pile excessivement puissante; or, un pareil procédé, outre la dépense qu'il occasionnerait, serait dans la plupart des cas d'une application si difficile, surtout par l'impossibilité de ramifier le courant, qu'on serait en droit de préférer les anciens moyens, sans doute plus dangereux, mais beaucoup plus expéditifs.

Heureusement les progrès de la physique dans ces derniers temps, et l'ingénieuse machine de Ruhmkorff, ont permis de résoudre le problème à la satisfaction de tous les intérêts [1].

Nous avons d'abord parlé des avantages que présenterait un système d'inflammation à distance, au point de vue des

1. Voir, pour l'historique de cette question, les *Applications nouvelles de la science à l'industrie et aux arts*, de M. Figuier.

accidents, parce que les considérations humanitaires doivent passer avant toutes les autres; mais sous le rapport des résultats matériels que l'on peut obtenir, ces avantages sont incalculables; on pourra en juger quand nous aurons exposé la manière dont les mines doivent être construites, pour qu'elles produisent le plus d'effet possible. Mais, disons le tout d'abord, l'art des mines, tel qu'il est pratiqué généralement par les ingénieurs, est dans un tel état d'enfance qu'on peut affirmer sans trop s'avancer que malgré les progrès des sciences il n'est pas plus avancé qu'il y a un siècle. A quoi faut-il attribuer ce peu de progrès dans un art qui intéresse à tant de titres non-seulement les travaux de terrassement mais encore les travaux militaires?... à plusieurs causes, d'abord au peu d'encouragement que trouvent particulièrement en France les inventeurs; en second lieu, à l'esprit de routine qui règne dans la plupart des administrations, et qui s'oppose toujours aux innovations; en troisième lieu, à l'organisation même des services, qui fait qu'une innovation, pour être admise, est obligée de passer par une filière administrative ou des commissions dont la plupart des membres ne comprennent pas ou ont oublié ce dont il s'agit, enfin à l'amour-propre de beaucoup d'ingénieurs qui rejettent à première vue tout ce qui n'émane pas de leur confrérie. Sans doute toute invention nouvelle n'est pas bonne à être mise en essai, mais quand cette invention a été sanctionnée par l'expérience, qu'a-t-on à objecter? Eh bien, quelque bonne que soit une invention, quelques avantages qu'elle fournisse, il faut en France des années avant qu'on l'adopte, et encore faut-il la plupart du temps qu'elle ait été sanctionnée à l'étranger. C'est ainsi que la plupart des grandes découvertes modernes, telles que l'application de la vapeur comme force motrice, la télégraphie électrique, l'éclairage au gaz, etc., bien que d'invention française n'ont été appliquées en France que

quand l'Angleterre et l'Amérique leur ont accordé leur brevet de viabilité. C'est réellement honteux. Mais quittons ces diatribes pour nous occuper de la question que nous traitons.

Je disais que l'art des mines n'est pas plus avancé en ce moment en France, entre les mains des ingénieurs, qu'il y a cent ans. Je n'en veux pour exemple que les travaux exécutés jusqu'en 1854 à Cherbourg. Dans ce port, on creuse depuis quinze ans au milieu du roc vif un bassin de près d'un kilomètre de longueur sur une profondeur de vingt mètres; et pour enlever ces masses énormes de rocher, on n'avait trouvé rien de mieux que d'employer de petites mines faites au burin, comme s'il ne s'agissait que de faire un trou dans un rocher ou de percer une galerie pour une route. Qu'en est-il résulté? qu'on a dépensé bien du temps, bien de la poudre et bien de l'argent pour arriver à un très-mince résultat. Le gouvernement actuel, ennuyé de voir que ces travaux n'avançaient pas davantage, a voulu s'assurer si l'intérêt particulier ne ferait pas mieux que l'intérêt officiel, et a mis ces travaux en adjudication. Deux entrepreneurs qui avaient déjà fait leurs preuves à Marseille et à Alger, MM. Dussaud et Rabattu, se sont chargés de l'entreprise, et, nous devons le dire, ils ont réussi au delà de toute espérance. Ainsi s'est confirmée la prévision du gouvernement.

Pour obtenir les brillants résultats auxquels ils sont arrivés, MM. Dussaud et Rabattu ont dû abandonner complétement le système de mines employé jusque-là par les ingénieurs; car ils avaient pensé avec raison que ce n'étaient pas de petites mines, contenant un ou deux kilogrammes de poudre, qui parviendraient à ébranler suffisamment le rocher pour le rendre exploitable, mais bien des *mines monstres*, contenant plusieurs milliers de poudre, et enflammées au même moment.

Une *mine monstre*, telle que celles que ces messieurs avaient déjà employées à Alger, se compose ordinairement de deux chambres carrées de la contenance de 3 à 4 mètres cubes, creusées à environ 12 mètres au-dessous de la surface du rocher, et que l'on remplit de poudre. Pour opérer ce creusement, MM. Dussaud et Rabattu ouvrent d'abord un puits AB, fig. 12, pl. IV, de 12 mètres de profondeur, puis ils font partir du fond de ce puits deux galeries horizontales BC, BD, d'environ 1m50 de hauteur, sur 5 mètres de longueur, et c'est à l'extrémité de ces galeries qu'ils creusent les chambres dont il a été question. La poudre n'est pas déversée directement dans ces chambres; car, dans le long travail du bourrage de ces mines, elle pourrait devenir humide et rester sans effet. C'est dans de grands sacs en gutta-percha, hermétiquement fermés, qu'elle est déposée avec la fusée d'explosion. Quand ce travail est fait, que les fusées sont attachées aux saucissons, on maçonne solidement à pierre et à plâtre les galeries, et on remplit de terre le puits de descente : en sorte que les mines ne sont plus en rapport avec l'extérieur que par les saucissons remplis de poudre, qui ont été eux-mêmes noyés dans la maçonnerie. Ces saucissons communiquent à la surface du sol avec des traînées de poudre qui partent des différentes mines et aboutissent à un centre commun, où se trouve une mèche d'amadou. C'est en allumant cette mèche qu'on met le feu à ces mines.

Ce système, bien que très-ingénieusement combiné, puisque la poussée de la poudre ne pouvait s'opérer qu'en soulevant la masse de rocher au-dessus de chaque mine, n'a pas donné dans l'origine des résultats aussi satisfaisants qu'on était en droit de l'espérer, précisément à cause du mode d'inflammation de la mine. On sait, en effet, d'après les expériences du général Morin, expériences d'ailleurs cnnues de beaucoup de chasseurs , que, dans un tube

rempli de poudre et faiblement bourré, toute la poudre ne brûle pas; de sorte qu'il peut arriver que la poudre, enflammée à la partie inférieure du tube, ne transmette pas l'inflammation à la partie inférieure. Or, c'est précisément ce qui arrivait souvent dans les saucissons de 12 mètres employés pour mettre le feu aux mines monstres de MM. Dussaud et Rabattu. D'un autre côté, la poudre ne prenant pas feu avec une égale promptitude, les différentes mines qui auraient dû s'enflammer en même temps ne partaient jamais régulièrement, et dès lors tout l'effet avantageux de ces espèces de volcans, dont les ébranlements individuels se fussent prêtés un mutuel secours, était plus que problématique.

En se reportant aux articles que j'avais publiés depuis plusieurs années, dans les journaux de la localité, sur l'importance de l'emploi de l'électricité pour l'inflammation des mines, MM. Dussaud et Rabattu virent immédiatement que toute la réussite de leur système d'exploitation par grandes mines dépendait complétement de l'application des moyens électriques, et vinrent me prier de leur organiser un système d'explosion électrique de facile manipulation, et surtout dont les effets fussent immanquables. Pour peu qu'on réfléchisse que ces mines, qu'on fait généralement partir au nombre de six ou huit à la fois, reviennent à près de 15,000 francs; que de leur bonne ou mauvaise réussite peut résulter la perte de cette somme, ou un bénéfice considérable, on pourra comprendre que la question économique n'était que secondaire pour eux. Je m'empressai de satisfaire à leur demande, et nous pûmes faire les premiers essais le 1er septembre de l'année 1854. Les résultats en ont été merveilleux, et ont dépassé tout ce que l'on pouvait attendre. Plus de 50,000 mètres cubes de rochers ont été détachés d'un seul coup, et les six mines employées à cet effet n'ont fourni qu'une seule détonation.

Pour les mines monstres, l'emploi de l'électricité comme moyen d'inflammation présente donc à la fois : *sécurité* pour les ouvriers, *sûreté* pour l'opération, *augmentation* de force ou d'effet mécanique de la part de la poudre (dû à la simultanéité d'explosion), que MM. Dussaud et Rabattu ont estimé à 1/6, *économie* de 60 pour 100 dans le procédé d'inflammation lui-même.

Pour les petites mines, les avantages du système électrique sont moins certains, surtout quand elles sont assez éloignées les unes des autres pour que l'instantanéité de l'explosion ne leur soit pas profitable. Les fusées d'explosion reviennent en effet à 50 centimes, et sont, par conséquent, beaucoup plus chères que les fusées ordinaires. De plus, les fils conducteurs peuvent être facilement détériorés par les éclats de pierre, qui sont plus nombreux avec ces sortes de mines qu'avec les grandes. On ne peut donc, dans ce cas, invoquer l'importance du procédé électrique que sous le rapport de la sécurité des ouvriers. Mais cette considération doit être suffisante pour qu'on renonce définitivement aux anciens procédés.

Après avoir ainsi démontré l'importance de l'emploi des moyens électriques pour l'inflammation des mines, il nous reste à faire connaître quels sont ces moyens.

Depuis longtemps, les effets de l'inflammation de la poudre par l'étincelle électrique sont connus, et, au premier abord, rien ne semble plus facile que d'obtenir l'explosion des fusées de mines, à l'aide de l'appareil de Ruhmkorff, qui a, sur les machines électriques, les immenses avantages de fournir des étincelles par tous les temps, qu'il fasse sec ou qu'il fasse humide, et d'exercer comme nous le savons, ses effets à de grandes distances. Pourtant le problème est infiniment plus complexe, et, pour le résoudre d'une manière applicable dans la pratique, bien des essais ont dû être tentés.

Un des obstacles qui se sont d'abord présentés, a été l'inertie calorifique de l'étincelle d'induction échangée à travers des corps mauvais conducteurs, inertie qui fait que l'on peut obtenir des étincelles d'induction à travers la poudre, sans que celle-ci s'enflamme, si on interpose dans le circuit une certaine résistance, par exemple si on rend l'étincelle la plus longue possible. Il arrivait donc, dans l'application, que, pour une certaine longueur du circuit, l'étincelle, bien qu'étant très-courte, ne faisait pas partir la mine, parce que la longueur du circuit représentait une résistance trop forte. On a donc dû chercher un moyen secondaire qui pût faciliter l'action calorifique, et le hasard en cela, il faut le dire, est venu au-devant de la théorie, en mettant entre les mains de M. Ruhmkorff les fusées de Stateham, dont on ne s'expliquait pas encore l'action.

La découverte de ces fusées est elle-même due à une circonstance accidentelle, qui s'est présentée dans les expériences faites à Londres, lors de l'essai du télégraphe sous-marin de Douvres à Calais.

Pour ces expériences, le câble sous-marin avait été mis à l'épreuve à une profondeur considérable dans l'eau. Quand on fit l'essai des fils, le constructeur, M. Stateham, amené à un examen minutieux de tout le câble par une solution de continuité, qu'il avait constatée dans l'un des fils, aperçut, à son grand étonnement, des étincelles passer au travers de l'enveloppe de gutta-percha, et se succéder avec une grande rapidité. Ce phénomène était un fait nouveau pour la science, car jusque-là on n'avait pas eu d'exemple d'étincelles échangées à distance, ou du moins sans friction de la part d'un conducteur de courant voltaïque. Après avoir examiné avec soin les diverses circonstances dans lesquelles le phénomène s'était produit, il crut reconnaître que c'était à la légère empreinte du fil de cuivre sur la gutta-percha vulcaninée (*soufrée*), empreinte constituée

par une couche de sulfure de cuivre, que le courant électrique devait en grande partie son effet statique, car les étincelles suivaient toujours cette empreinte. Il conçut dès lors l'idée de construire sur ce principe des fusées pour les mines.

Il ne put cependant atteindre complétement ce but, car l'un des éléments essentiels à la production des étincelles qu'il avait observées n'avait pas encore été découvert. Il était reservé à Faraday d'expliquer, quelques années plus tard, le phénomène[1].

Bien que le système d'inflammation électrique de M. Stateham n'ait pas eu beaucoup d'applications, ses fusées tombées entre les mains de M. Ruhmkorff produisirent l'effet que ce physicien en attendait pour le courant de son appareil; et par cet intermédiaire il put provoquer l'inflammation de la poudre dans toutes les conditions possibles.

Les fusées de Stateham sont très-faciles à confectionner : on prend deux bouts de fil de cuivre rouge recouverts de gutta-percha ordinaire; on dégarnit de gutta-percha leurs extrémités; on les entortille, comme on le voit fig. 13, pl. IV, et on recourbe les bouts des fils métalliques, de manière à entrer dans une enveloppe A B de gutta-percha vulcanisée, que l'on a coupée et enlevée de dessus un fil de cuivre qui en avait été depuis longtemps recouvert. On pratique sur cette enveloppe une échancrure A B, et après avoir maintenu à deux ou trois millimètres l'une de l'autre les extrémités des fils de cuivre, on en recouvre les pointes de fulminate de mercure, afin de rendre l'in-

1. Ce phénomène, comme nous l'avons dit p. 151, 1er v., doit être attribué à une *réaction statique*, échangée entre l'électricité du courant et l'électricité, décomposée par induction latérale, du conducteur liquide dans lequel était plongé le câble. Je dois faire observer que, dès l'année 1852, j'avais présenté un mémoire à l'Institut, sur ces sortes de *réactions* par lesquelles j'avais expliqué la production des courants d'induction dans la machine de MM. Breton frères.

flammation de la poudre plus aisée. On remplit l'échancrure de poudre et on enveloppe le tout avec un bout de tuyau de caoutchouc CD, ou dans une cartouche remplie de poudre.

Le rôle de la gutta-percha vulcanisée, dans la facilité qu'elle donne à l'électricité de produire des effets calorifiques, peut trouver son explication dans les expériences sur les étincelles d'induction échangées au travers des corps de conductibilité secondaire, dont nous avons parlé page 388, 1er vol., et desquelles il résulte qu'un corps de conductibilité secondaire interposé entre les électricités développées des deux côtés d'une solution de continuité dans un courant d'induction, facilite la décharge, et par cela même entre facilement en ignition. Dans les fusées Statham, c'est le sulfure de cuivre qui est précisément ce conducteur secondaire.

Quand on a préparé une fusée comme nous l'avons expliqué plus haut, il ne faut pas oublier de l'essayer et de régler en conséquence l'étendue de la solution de continuité. Il peut se faire en effet que tout en appartenant à la même enveloppe d'un fil de cuivre, la gaîne de gutta-percha vulcanisée, dont on munit la fusée, soit plus ou moins imprégnée de sulfure de cuivre; or, si le sulfure de cuivre est en trop grande quantité, il devient trop bon conducteur et empêche l'étincelle de se produire. Si, au contraire, il n'est pas en assez grande quantité, il ne facilite pas suffisamment la décharge. Il est facile, du reste, de voir quand l'étincelle atteint son maximum d'intensité.

Les premiers essais en grand de l'application de l'appareil d'induction de Ruhmkorff aux mines, ont été faits en 1853 par le colonel espagnol Verdu, dans les ateliers de M. Herkmann, fabricant de fil recouvert de gutta-percha, à la Villette, près Paris. On a expérimenté successivement, sur une longueur de fil de 400 mètres, de 600, 1,000, 4,800,

5,000, 6,400, 7,600, 25,000, 26,000, et le succès a toujours été complet, soit avec un circuit composé de deux fils, soit en faisant entrer la terre dans le circuit. L'on n'avait employé, pour cela, que deux éléments de Bunsen (moyen modèle).

Ces expériences furent suivies de plusieurs autres, ayant pour but de remplacer la pile par la machine de Clarke, tout en conservant l'appareil inducteur de Ruhmkorff. Elles ont toutes également réussi à des distances de 440, 1,000, 1,800, 5,600 mètres. On ne put expérimenter au delà, mais tout porte à croire que l'expérience aurait pu réussir à une distance beaucoup plus grande. Ainsi les courants d'induction de la machine de Clarke peuvent, dans cette application, remplacer les courants voltaïques, et c'est un grand avantage dans un grand nombre de cas.

Depuis ces expériences, qui semblaient faire entrevoir dans un avenir prochain la solution complète du problème de l'explosion des mines, physiciens, officiers de génie et constructeurs se sont mis à l'œuvre pour le perfectionnement du procédé, et il est résulté de tous leurs travaux un ensemble de systèmes qui fournit, dès aujourd'hui, les moyens d'appliquer l'électricité aux mines dans les différents cas qui peuvent se présenter.

Système de M. Savare. — Dans leurs premières expériences, MM. Ruhmkorff et Verdu avaient cherché à obtenir l'inflammation simultanée de plusieurs fusées en les interposant sur le même circuit; ils pensaient avec raison, sans doute, que, puisque l'étincelle électrique, en parcourant le carreau étincelant ne se trouvait pas arrêtée, bien qu'elle eût à traverser plusieurs centaines de solutions de continuité, il devait en être de même de l'étincelle d'induction; mais, chose curieuse! cette étincelle, dont les effets physiologiques sont plus énergiques que ceux de la machine électrique, dont la tension est si considérable qu'on peut

les faire jaillir à travers la gomme laque, la faïence, le verre même, dont la puissance physique est si énergique à petite distance; cette étincelle, dis-je, se trouve à tel point affaiblie par les solutions de continuité successives, que le carreau magique de la plus petite dimension ne peut être entièrement traversé par elle. C'est tout au plus si les petites étincelles auxquelles elle donne naissance apparaissent quand elles sont au nombre de 120 à 150. Aussi n'a-t-on jamais pu réussir à faire partir avec ce système plus de quatre mines à la fois.

Reconnaissant cette mauvaise condition des courants d'induction, M. Savare, capitaine du génie français, a cherché à concentrer l'action du courant au lieu de la diviser, et pour cela, il a rendu impossible sa transmission par les fusées, une fois celles-ci parties. Pour arriver à ce résultat, M. Savare établit toutes ses fusées sur des dérivations d'un circuit principal et les construit de manière que les bouts du fil constituant la solution de continuité soient terminés par des pointes effilées d'alliage fusible (le métal Darcet amalgamé). Pour rendre l'inflammation plus facile, il remplace la poudre par du pyroxyle enveloppé lui-même dans une étoffe rendue inflammable, et emploie comme conducteur secondaire du sulfure noir de mercure ou du deuto-sulfure d'étain. On comprend dès lors ce qui arrive : celle des mines qui est la plus rapprochée de l'appareil, ou dont la fusée présente le moins de résistance à la transmission du courant, part de préférence aux autres; mais dans cette inflammation, le métal Darcet se trouve fondu, et si la fusée est restée dans la mine, les deux extrémités du fil sont alors trop éloignées l'une de l'autre pour que le courant passe au travers; c'est donc une issue de moins au courant, et, par conséquent, un renfoncement d'action électrique pour les autres mines.

Dans la pratique on peut n'employer qu'un seul conduc-

teur, laissant au sol le soin d'achever le circuit. On fait donc partir d'un des pôles de la machine de Ruhmkorff un fil soigneusement recouvert de gutta-percha qui circonscrit les différentes mines et sur lequel on greffe les bifurcations qui doivent aller à ces mines. Ces bifurcations sont attachées à l'un des bouts des fusées, tandis que l'autre bout de celles-ci communique au sol, par l'intermédiaire d'un fil quelconque, attaché à une plaque métallique. Un pareil fil également en rapport avec la terre, part du second pôle de l'appareil de Ruhmkorff et complète le circuit.

Afin d'éviter la transmission à travers le sol une fois que les fusées ont fait explosion, M. Savare introduit la pointe de métal fusible et une portion du conducteur dérivé dans un tuyau de gutta-percha qu'il soude sur ce conducteur de manière à ce que la solution de continuité et les extrémités du fil métallique fusible, longues d'environ un centimètre, soient dans le vide. Puis il remplit cet espace vide avec du pulvérin délayé dans de l'eau gommée. Il en résulte qu'au moment de l'explosion, le métal fond jusqu'à un centimètre de profondeur dans la gutta-percha, et que la communication du conducteur dérivé avec le sol devient impossible. Avec des fusées préparées de cette manière on peut faire sauter autant de fourneaux de mine que l'on veut. Le métal fusible en s'échauffant et en fondant suffirait presque pour enflammer la poudre. La préparation est d'ailleurs facile. On achète le métal Darcet tout fait, on le fond dans un creuset, on y mêle une certaine quantité de mercure, et pour l'obtenir en fil on aspire le métal fondu dans de petits tubes en verre. Quand il est refroidi on le retire des tubes, on le soude aux conducteurs en cuivre et l'on effile les pointes à la lime. La proportion de mercure ne doit pas être grande, car alors le métal serait trop cassant.

Avec ce système, M. Savare a pu enflammer jusqu'à dix mines à la fois, à 700 mètres de distance.

Système de M. Verdu. — Depuis ses premières expériences avec M. Ruhmkorff, M. Verdu s'est livré à de nouveaux essais en Espagne, et il s'est assuré que de toutes les substances explosibles, telles que la poudre blanche, la poudre de chasse, le fulmi-coton, le mélange de soufre et de chlorate de potasse qu'on pouvait introduire dans les fusées, aucune n'était à beaucoup près aussi sensible que le fulminate de mercure. C'est donc aux fusées Statham chargées avec du fulminate de mercure qu'il a eu recours pour ses expériences au polygone du génie de Guadalaxara, faites à une distance de 3,000 mètres avec un seul conducteur isolé et *tendu en ligne droite.*

Avec un seul élément de Bunsen, M. Verdu est parvenu à produire l'explosion simultanée de six fourneaux de mine interposés dans le même circuit à 300 mètres de l'appareil; il n'a pas été au delà de cette limite, mais il a cherché le moyen d'agir indirectement sur un plus grand nombre de mines en les distribuant par groupes de cinq et en interposant chacun de ces groupes dans un circuit particulier[1]. Voici comment on opère dans ces deux cas : supposons vingt fourneaux divisés comme nous venons de le dire, en groupes de cinq, séparés les uns des autres par une distance aussi grande qu'on le voudra. On fait communiquer les cinq fusées de chaque groupe par un seul fil dont l'une des extrémités s'enfonce dans le sol et dont l'autre est près de l'appareil. En touchant successivement le pôle du courant induit avec chacun des quatre bouts libres que l'on tient ensemble à la main, ce qui exige à peine une seconde de temps, on obtient vingt explosions simultanées à des distances considérables, par exemple à 500 mètres. M. Verdu

1. J'avais proposé ce système avant M. Verdu et je l'avais combiné de manière à n'employer qu'un seul fil recouvert de gutta-percha pour franchir la plus grande distance, c'est-à-dire celle de l'appareil aux mines. (Voir mon *Traité des Applications de l'Électricité*, IIe vol., p. 124, 1re éd.)

n'a, du reste, trouvé jusqu'à présent aucune limite à la distance à laquelle l'explosion peut avoir lieu, ni au nombre de fourneaux. Ainsi, dans une expérience à une distance de 3,500 mètres, l'explosion simultanée des fourneaux a été telle qu'il n'a pu percevoir que le bruit d'une détonation unique.

L'inconvénient immense de l'emploi du fulminate de mercure dans la pyrotechnie est présisément sa facilité d'explosion par le choc; il était donc à craindre que dans le bourrage des mines, le choc produit n'entraînât l'explosion de la fusée et partant celle de la mine. Mais M. Verdu s'est assuré que ces inconvénients n'existaient pas dans le cas en question, si l'on avait soin d'introduire l'extrémité des fusées dans un petit tube de gutta-percha fermé par le bout. Après avoir rempli de poudre cette espèce de petite boîte et l'avoir fermée hermétiquement, on peut transporter les fusées, les manier, les laisser tomber, les choquer même assez fortement, sans danger. La nature un peu élastique et corroyée de la gutta-percha qu'on a eu soin de ramollir un peu au feu préserve le fulminate de toute chance d'accident.

Système de M. Th. du Moncel. — Comme nous l'avons déjà dit, le problème à résoudre, pour l'explosion des mines monstres par l'électricité, était moins de rechercher l'économie dans les organes électriques destinés à agir, que de fournir un système immanquable dans ses effets. Or, les systèmes précédents, bien que très-ingénieux, ne me paraissaient pas donner une garantie suffisante, eu égard à l'importance des résultats négatifs ou positifs qui pouvaient être la conséquence de la mauvaise ou bonne réussite de ces mines. Au lieu donc de faire partir six ou huit mines qui composent ordinairement chaque système de ces mines monstres, j'ai mieux aimé les diviser par groupes de deux, et avoir recours à trois ou quatre circuits. Bien plus

même, craignant, en raison du contact si intime des fils avec la terre et le plâtre, dans les galeries et le puits de descente, un isolement insuffisant du courant, j'ai supprimé la communication par le sol, et j'ai préféré employer deux conducteurs au lieu d'un, ce qui d'ailleurs ne m'occasionnait qu'une dépense très-minime, puisque l'un de ces fils pouvait être commun à tous les circuits en rapport avec les trois ou quatre grandes mines qui devaient partir en même temps.

Avec cette disposition, commandée par la prudence, le problème se réduisait pour moi à obtenir la simultanéité d'explosion à travers ces différents circuits. J'ai eu pour cela recours à deux systèmes de commutateurs, d'une construction particulière, que nous avons représentés fig. 14 et 15, pl. IV.

Le plus simple de ces commutateurs, fig. 14, s'applique dans les cas où les mines sont peu éloignées du lieu où l'on opère : il se compose d'une planche d'acajou dans laquelle sont incrustés : 1° un cadre *a b c d* de caoutchouc durci ; 2° une glace de verre assez épaisse. Sur deux des côtés de ce cadre isolant sont fixées 8 ou 10 lames de cuivre *ef*, *gh*, *ij*, etc., arrondies sur les carres de manière à présenter une surface légèrement convexe ; et des boutons d'attache *e*, *g*, *i*, qui leur sont adaptés, permettent de les réunir à des fils faisant partie de circuits spéciaux. Cette planche est supportée sur quatre pieds pointus afin d'être solidement fixée quand on doit faire fonctionner le manipulateur.

Celui-ci consiste dans une lame flexible de cuivre AB, fig. 14 bis, soudée à l'extrémité d'un gros fil recouvert de gutta-percha et adaptée par l'intermédiaire de ce fil à un manche de bois. Comme celui-ci n'adhère qu'à la gutta-percha dont est recouvert le fil, cette lame AB se trouve complétement isolée et l'on est à l'abri des commotions quand on

met ce manipulateur en rapport avec la machine d'induction.

Pour faire fonctionner cet appareil, rien de plus simple : on met les différents circuits sur lesquels on a à agir en rapport avec les lames de cuivre du commutateur et on attache l'extrémité libre du fil du manipulateur à celui des pôles de l'appareil de Ruhmkorff qui donne des étincelles à distance ; comme les différents circuits mis en rapport avec le commutateur le sont déjà avec le second pôle de l'appareil d'induction par un fil spécial, il suffit de faire passer le manipulateur plusieurs fois de suite à travers les lames de cuivre *ef*, *gh*, *ij*, pour produire les différentes fermetures de courant nécessaires à l'explosion des fusées.

Les précautions d'isolement que nous avons indiquées pour la construction du commutateur sont essentielles parce qu'avec ces sortes de courants le bois n'est pas un isolateur suffisant, surtout dans le cas en question, à cause de l'étendue assez considérable qu'occupent les points de contact des lames de cuivre du commutateur, laquelle suffit comme je l'ai démontré dans ma notice sur l'appareil de Ruhmkorff, pour rendre le bois conducteur. D'un autre côté, l'emploi de la glace de verre empêche la traînée demi-conductrice qui accompagne toujours le frottement d'un métal sur le bois et même sur le caoutchouc durci.

Enfin les points d'attache du circuit avec l'appareil d'induction ne sont pas du tout indifférents, car il arriverait souvent, si on attachait au pôle de l'appareil qui donne des étincelles à distance le fil se rendant directement aux fusées, que plusieurs des mines partiraient avant qu'on ait fermé les circuits au moyen du manipulateur. Dès lors on ne pourrait plus compter sur la sûreté de l'opération. En attachant, au contraire, le manipulateur à ce pôle, cet effet ne peut jamais se produire.

Pour plus de sûreté, MM. Dussaud et Rabattu ont de-

mandé à M. Ruhmkorff de leur faire ce commutateur double afin de pouvoir diriger à la fois sur les mêmes mines les courants issus de deux appareils différents. Ces commutateurs doubles ne sont autre chose que deux séries de plaques de cuivre disposées comme nous l'avons vu précédemment et séparées par un rebord de caoutchouc durci. Alors le manipulateur a la forme d'une fourche que l'on place à cheval au-dessus de ce rebord quand on opère, en ayant soin d'appuyer également de part et d'autre. Je crois que cette précaution est superflue quand on a pris tout le soin convenable pour bien isoler les circuits et pour mettre l'appareil en bon état.

Le second commutateur, représenté fig. 15, pl. IV, peut être employé avec avantage quand la distance entre les mines et le lieu où doivent être placés les appareils électriques est considérable; il épargne beaucoup de fil recouvert de gutta-percha et rend les circuits que doit parcourir le courant d'induction beaucoup moins longs.

Ce commutateur n'est, à proprement parler, que mon Relais rhéotomique que j'ai décrit page 303 (1er vol.). Seulement le mouvement du frotteur du rhéotome doit être moins prompt et les conditions de l'isolement mieux observées. L'appareil que nous avons représenté fig. 15 est renfermé dans une boîte de chêne assez forte pour recevoir, sans se briser, le choc des petites pierres lancées par la mine. Il se compose d'un mécanisme d'horlogerie M à quatre mobiles, susceptible d'être réglé dans sa vitesse au moyen d'un modérateur K. Sur le troisième de ces mobiles est adapté un levier A armé d'un frotteur à piston F qui tourne autour d'une circonférence composée de plaques de cuivre et de plaques de glaces alternées et placées au même niveau. Les plaques de cuivre, comme dans le commutateur précédent, sont fixées sur une circonférence de caoutchouc durci et correspondent par des boutons d'at-

tache aux fils des différents circuits. Au-dessus du troisième mobile du mécanisme d'horlogerie se trouve un électro-aimant E dont l'armature porte une dent servant de détente d'encliquetage à ce mobile. Enfin les différentes pièces qui composent le mécanisme, se trouvent renfermées dans une enveloppe épaisse de gutta-percha ou de caoutchouc durci.

On peut se servir de cet appareil de deux manières : 1° en employant une pile auxiliaire pour la manœuvre à distance du commutateur. Alors l'appareil d'induction peut être placé sous un abri, très-près des mines, et les fils, reliant le commutateur au poste où l'on expérimente, peuvent n'être que de simples fils de fer ; 2° en n'employant qu'une seule pile pour l'appareil d'induction et le commutateur. Alors celui-ci épargne le prolongement des différents fils spéciaux allant aux mines.

L'usage de ce commutateur se comprend aisément, puisqu'il ne fait que reproduire à distance, comme un relais, l'action que l'on effectuerait à la main au moyen du premier commutateur. Il suffit donc, au moment de faire partir les mines, de fermer le circuit correspondant à l'électro-aimant du commutateur, et alors celui-ci opère les fermetures successives des circuits induits, qui sont en rapport avec les mines. Quand on emploie deux piles distinctes, rien n'est plus facile que cette manœuvre ; mais, dans le cas où l'on ne veut agir qu'avec une seule, un commutateur particulier doit être ajouté à l'appareil d'induction. Ce commutateur peut consister simplement dans une lame de ressort qui serait mise en rapport avec l'un des deux fils allant au commutateur mécanique, et qui serait placée de manière à rencontrer une cheville de cuivre fixée sur l'une des plaques du commutateur de l'appareil d'induction, un peu avant que cette plaque fût dans la position voulue, pour que l'appareil d'induction marchât. Il faudrait seulement que

le fil, en rapport avec ce ressort additionnel, fût relié à la fois à l'électro-aimant du commutateur mécanique et au massif métallique de ce commutateur, de telle manière que le mécanisme d'horlogerie, étant une fois dégagé, pût couper les communications établies entre l'électro-aimant et le circuit des mines. Avec cette disposition, une première fermeture du courant de la pile précéderait l'envoi du courant d'induction, et cette première fermeture ferait réagir le commutateur mécanique, qui distribuerait alors le courant induit aux différentes mines. Il serait bon, dans ce cas, de tourner plusieurs fois de suite le commutateur de l'appareil de Ruhmkorff, pour provoquer plusieurs révolutions de la part du frotteur du commutateur mécanique.

Le commutateur mécanique que nous venons de décrire pourrait être substitué avantageusement au commutateur simple, que nous avons considéré comme devant s'appliquer aux petits circuits. Il aurait sur lui l'avantage d'un fonctionnement régulier, et l'on n'aurait pas à craindre, en l'employant, d'agir ou trop lentement ou avec trop de précipitation.

La disposition des fils et des appareils dans mon système est indiquée dans la fig. 16. M représente l'appareil de Ruhmkorff placé à 4 ou 500 mètres des mines; OP est le commutateur placé tout près de l'appareil d'induction; enfin les puits de descente des mines sont figurés en Q, R, S, T, U, etc. Le pôle extérieur du courant communique au ressort AB (fig. 14 bis) du commutateur, et le pôle intérieur, celui qui ne fournit pas d'étincelle à distance avec un conducteur isolé du circuit, est en rapport avec un long fil recouvert de gutta-percha vulcanisée qui circonscrit les différentes mines. Sur ce fil on pratique des dérivations qui vont rejoindre l'un des deux fils, + et —, fig. 12, ressortant de chaque mine; l'autre fil de ces mines, le fil + par exemple, est relié séparément à un fil particulier, également recouvert de gutta-percha vul-

canisée, qui va s'attacher à l'une des lames de cuivre du commutateur; il va sans dire qu'il y a autant de ces fils particuliers qu'il y a de mines. Telle est l'organisation du système d'explosion quant à sa liaison avec les appareils. La disposition des fils, à l'intérieur des mines, est indiquée fig. 12. Ces fils, en raison de leur peu de longueur, peuvent être choisis, par économie, d'un diamètre beaucoup plus petit, car ils ne peuvent pas resservir; ils disparaissent même entièrement pendant le travail de l'explosion. Deux de ces fils, + et —, après être descendus d'abord verticalement dans le puits de descente, se recourbent brusquement pour passer par les galeries horizontales et viennent s'attacher à l'un des bouts des deux fusées d'explosion C et D; les autres bouts de ces fusées sont ensuite reliés directement par un troisième fil.

Dans l'organisation de ces différents fils il faut avoir soin de recouvrir tous les points de jonction d'une épaisse couche de gutta-percha ou, à défaut de gutta-percha, de plusieurs doubles de taffetas gommé. Il convient même, pour plus de sûreté, de soutenir extérieurement ces points de jonction au-dessus du sol à l'aide de petites fourchettes de bois.

L'effet d'explosion de ces mines *monstres* est tout à fait différent de celui des petites mines. Peu de fragments de pierres sont projetés en l'air, mais on voit le terrain se soulever comme une enveloppe qui se gonfle. Quand ce soulèvement a atteint une hauteur de un à deux mètres, des déchirures se forment de tous côtés, et la fumée, quelques instants comprimée, en s'échappant à travers ces fissures, donne à ces mines l'apparence d'un cratère de volcan en éruption. La détonation n'est pas extrêmement forte, c'est un bruit sourd, qui semble venir de loin, et à la suite duquel se produit un petit tremblement de terre qui, du reste, ne se

propage pas assez loin pour endommager les bâtiments dans le voisinage.

L'explosion de ces mines est, du reste, un spectacle curieux qui attire toujours, dans le port militaire de Cherbourg, un grand nombre de spectateurs. Ordinairement les entrepreneurs chargés de ces travaux en font partir tous les trois mois.

Il serait bien long d'énumérer la foule d'applications que l'on peut faire de cette propriété inflammable des courants d'induction, car l'explosion des mines n'est qu'une bien petite face de la question. Son emploi dans l'artillerie, soit pour la décharge instantanée d'une batterie, composée de plusieurs pièces d'artillerie, soit pour l'explosion des brûlots, soit pour la démolition des navires sous l'eau, ou pour les mines sous-marines, serait un progrès immense réalisé dans l'intérêt de la défense et de la sécurité des hommes préposés à ces différentes manœuvres.

Dans l'artillerie ordinaire, même, ce procédé pourrait être utilement employé. En effet, la lumière par laquelle s'opère la transmission du feu dans les canons, est une cause perpétuelle d'accidents pour les chargeurs de pièces, car l'air qui entre par cette lumière peut entretenir incandescentes les flammèches restées au fond du canon. Avec le procédé électrique, la lumière peut être supprimée, car on la remplace par une fusée qui peut facilement être disposée de manière à rester fixe et à servir toujours.

Enfin, pour les feux d'artifice, les travaux de siége qui demandent la simultanéité dans les explosions, aucun moyen ne pourrait remplacer l'effet électrique. Espérons donc que l'artillerie française qui, jusqu'à présent, a toujours été la première de l'Europe, ne se laissera pas devancer par les autres nations, et qu'elle sera la première à faire des expériences qui, jusqu'à présent, sont restées seulement dans le domaine de la science.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A L'INFLAMMATION DES GAZ.

Depuis la découverte de la bouteille de Leyde, on a bien souvent appliqué l'étincelle électrique à l'inflammation des gaz inflammables et autres substances combustibles; mais les applications utiles de ce genre de réactions électriques n'ont été combinées que depuis fort peu de temps. Nous allons passer en revue quelques-unes de ces applications; mais nous ferons observer tout d'abord qu'entre l'expérience en elle-même et ses applications, il y a tout un monde.

Procédé électrique pour allumer à distance un bec de gaz. — Il y a trois ans, M. Liais et moi, cherchant le moyen d'allumer à distance la mire de nuit de l'Observatoire de Paris, avons été conduits à combiner un système fort simple d'allumage électrique pour le gaz, qui a été récemment appliqué avec beaucoup de succès dans la marine, comme nous allons le voir à l'instant. Voici comment je décrivais ce procédé, dans le 2e volume, page 208, de la première édition de mon ouvrage, publié en 1854 :

« Cette mire (la mire de l'Observatoire établie suivant le « nouveau système) n'est autre chose *qu'un bec de gaz* « établi à l'extrémité d'un mât et renfermé dans une espèce « de lanterne disposée à cet effet. A travers cette lanterne « et précisément au-dessus du bec de gaz se trouvent fixés, « à une très-petite distance l'un de l'autre, *deux fils de* « *platine* suffisamment isolés et en communication avec « *deux fils recouverts de gutta-percha.* Ces fils aboutissent « à l'*appareil de Ruhmkorff* placé dans la salle des observa- « tions, et cet appareil marche sous l'influence d'une ma- « chine de Clarke. *Enfin le robinet du tuyau pour le gaz est* « *placé également dans la salle des observations, de sorte* « *que sans bouger de cette salle on peut faire arriver en*

« *temps voulu le gaz à l'extrémité du mât et l'allumer en* « *tournant la machine.* »

On voit par cette description que c'est bien à M. Liais et à moi que revient la priorité de ce moyen d'illumination, qui pourtant a été breveté il n'y a que quelques mois.

Télégraphe nautique de M. Trève. — « Les signaux de nuit dans une flotte, ou en général entre bâtiments de guerre, s'effectuent au moyen de feux placés les uns au-dessus des autres au point le plus élevé et le plus apparent du navire. Le nombre des feux employés ne dépasse jamais six, et c'est sur une combinaison de ces six feux, un à un, deux à deux, etc., hissés sur une ou deux drisses, qu'est basée une table de signaux. Dans le but de s'approprier un nombre d'avis ou ordres différents à transmettre plus en rapport avec les besoins du service, on imagina de donner à chacune des vingt premières combinaisons six significations différentes suivant qu'on les ferait précéder ou suivre de fusées et de feux de Bengale. De l'application de cette idée, il est résulté six chapitres de vingt ordres, partant 120 signaux de nuit.

Les feux de signaux sont transmis par des fanaux dits *fanaux de combat,* dont la disposition a été l'objet de nombreuses recherches et de nombreuses expériences. Celle qui a été définitivement adoptée est représentée vue en coupe, fig. 17, pl. IV. Un fanal de ce genre n'est autre chose qu'une lanterne ordinaire dont les parties transparentes ont été remplacées par des *lentilles à échelons* analogues à celles dont on se sert avec tant de succès pour projeter la lumière des phares. Cette disposition a donné aux signaux de nuit, à bord des navires, une puissance lumineuse, sinon suffisante, du moins la plus considérable possible, avec le système d'éclairage adopté jusqu'à présent pour ces fanaux et qui est fait avec de la bougie.

« Dans les conditions actuelles, s'agit-il de faire un si-

gnal? dit M. Trêve. Il faut allumer un nombre suffisant de fanaux, les porter là où doit monter le signal, les fixer sur une ou deux drisses les uns à la suite des autres et les placer dans l'ordre indiqué sur le tableau. Cette manœuvre, toujours lente, en cas imprévu surtout, même dans les conditions favorables de vent et de mer, exige des précautions souvent inefficaces pour soustraire les fanaux aux effets de mouvement désordonnés et qui rendent incertaine l'exécution complète du signal.

« Un premier signal étant exécuté, convient-il de le faire suivre d'un second? Il faut, 1° amener les fanaux pour pouvoir en augmenter ou en diminuer le nombre; 2° laisser s'écouler un certain laps de temps entre le premier et le second signal, pour ne pas donner lieu à une interprétation erronée quand on a dû employer des fusées.

« Comme la distance qui sépare les fanaux les uns des autres ne peut jamais être relativement considérable, et que par suite de leur faible éclat il devient difficile de loin de les distinguer individuellement, on a cherché à colorer ces feux d'une manière différente pour chaque fanal. Malheureusement les couleurs qui peuvent être transmises à de longues distances sont très-réduites. Ainsi le jaune, le bleu, le violet, ces couleurs que l'on voit si resplendissantes et si bien nuancées dans les belles pharmacies ne sont pas régulièrement transmissibles dans l'air. Le vert et le rouge seuls peuvent se prêter à une transmission lointaine. En employant ces dernières on pourra pourtant réduire le nombre des fanaux, et ce sera toujours un avantage surtout pour rompre la ligne lumineuse que présentent de loin tous ces fanaux superposés. »

Tel est jusqu'à ce jour l'état de la télégraphie de nuit à bord des navires. On voit qu'elle réclame de notables améliorations, et ce sont ces améliorations que M. Trêve a réalisées dans son télégraphe électro-nautique.

Ces améliorations consistent : 1° à remplacer l'éclairage à l'huile ou à la bougie des fanaux par un éclairage au gaz; 2° à établir ces fanaux dans une position fixe et à ne réagir que sur la lumière qu'ils projettent; 3° à employer l'électricité pour cette réaction sur la lumière ; 4° à simplifier les signaux par l'emploi de cinq fanaux seulement dont deux sont colorés en vert et en rouge.

La figure 18, pl. IV, représente l'ensemble du télégraphe électro-nautique. Les fanaux n°s 1, 3 et 5 fournissent de la lumière blanche, le fanal n° 2 est coloré en rouge et le fanal n° 4 en vert. Ils sont tous reliés les uns aux autres par des chaînes à crochet et sont en communication avec l'appareil d'induction de Ruhmkorff placé dans la chambre du commandant, par deux fils recouverts de gutta-percha qui se bifurquent d'un fanal à l'autre pour aboutir aux deux fils de platine placés au-dessus de chaque bec de gaz et destinés à l'allumer, comme nous l'avons expliqué précédemment. Cinq tuyaux de plomb ou de caoutchouc de 1 centimètre de diamètre, partant d'un tonneau rempli de gaz, aboutissent à ces différents fanaux et sont munis, à leur sortie du réservoir à gaz, de robinets au moyen desquels on peut arrêter ou laisser écouler ce gaz. Ces robinets jouent en quelque sorte le rôle du manipulateur dans les télégraphes électriques. Car en les ouvrant et les fermant alternativement pendant que l'appareil d'induction fonctionne, on peut distribuer la lumière sur tels ou tels fanaux et obtenir ainsi les combinaisons lumineuses nécessaires pour l'envoi des signaux. Une chose assez curieuse, que l'expérience a démontrée, c'est que, malgré le gaz qui existe encore à l'intérieur des tuyaux après que les robinets ont été fermés, l'extinction des lumières est immédiate. Cela vient sans doute de ce que la pression qui sollicite le gaz à sortir, n'existant plus, l'équilibre entre la force élastique du gaz restant dans les tuyaux, et la pression atmosphérique s'éta-

blit d'autant plus vite que ce gaz est par sa nature d'une faible densité.

« De toutes les méthodes pour reproduire la pensée au moyen de signaux télégraphiques, dit M. Trève, la plus féconde et la plus complète est, sans contredit, la méthode dite numérique; car si les signaux représentent des nombres, on peut les combiner et les multiplier comme les nombres eux-mêmes. On peut les appliquer à des mots, à des phrases, ou parties de phrases toutes préparées, de façon à exprimer beaucoup de choses avec peu de signes. Le nombre des phrases d'un vocabulaire dépend évidemment de celui des signaux primitifs; ainsi, les cinq fanaux disposés comme le montre la figure, nous donnent 18 signaux différents ou signaux primitifs (encore les signaux de même couleur ont dû être écartés pour éviter les erreurs d'interprétations).

« Consacrant donc ces 18 signaux primitifs à l'expression des 18 premiers nombres, nous ferons un vocabulaire de 18 pages renfermant chacune 18 mots ou phrases.

« Des conventions sont nécessairement à établir : le premier signal donné par le télégraphe indiquera, par exemple, la page du vocabulaire, tandis que le second indiquera le numéro de cette page répondant à la phrase.

« Cette combinaison de deux à deux nous fournit donc un vocabulaire de 324 numéros répondant à un nombre égal d'avis ou ordres différents. Les 18 signaux primitifs, hissés isolément, rempliront le rôle des pavillons de notre tactique quand on les hisse isolément. C'est donc 324 plus 18 ou 342 signaux.

« De plus, aujourd'hui, pour atteindre un nombre de signaux égal à 120, il faut nécessairement avoir recours aux fusées ou aux feux de Bengale : en réservant ces excellents moyens pour tel objet que l'on se proposera, on aura la faculté d'agrandir le cadre de signaux d'une ma-

nière presque illimitée. — Je n'ai fait ici que rappeler la méthode des télégraphes aériens, et en indiquer la facile application à nos signaux de nuit. 342 combinaisons attendent une signification et peut-être une classification. C'est aux travaux tout spéciaux d'une commission qu'il appartient de donner à ces combinaisons tout leur effet utile, et de répondre d'une manière efficace aux besoins du service dans la mesure qu'elles viennent de tracer.

« Il nous reste maintenant à étudier la question du gaz et de sa dépense.

« La fabrication de plus en plus étendue du gaz comprimé, son application journalière à Paris dans tous les établissements qui veulent se signaler par leur brillant éclairage, l'installation dans leurs caves d'énormes gazomètres destinés à distribuer la lumière dans tout l'intérieur, répondent surabondamment aux craintes que l'on pourrait peut-être concevoir sur son admission à bord de nos navires. — Les bonnes mesures que l'on prend aujourd'hui, ainsi que l'usage qui en est fait par les Américains pour l'éclairage intérieur de beaucoup de leurs navires, en font au reste bon marché. D'ailleurs, pas un atome de gaz ne se répandra dans l'intérieur de nos navires, puisque c'est en plein air, sur la dunette d'un navire, que je place le gazomètre.

« Que peut-il donc arriver? Qu'il y ait fuite si l'on n'y a pas veillé, le gaz se répand alors dans l'air; il est perdu, voilà tout.

« Quant à une explosion, on sait qu'il faut un volume d'air cinq fois plus grand que le volume de gaz dans un cylindre à gaz comprimé; elle est matériellement impossible.

« La faculté de comprimer ce gaz à 10 ou 12 atmosphères et même bien au delà, si on le veut (ce n'est qu'une affaire d'épaisseur de tôle), répond admirablement aux questions de convenance à bord des navires. Ainsi, deux

cylindres en tôle de la dimension de nos petits barils de galère renfermant du gaz à 12 atmosphères, nous donnent tout de suite l'énorme approvisionnement de 720 litres de gaz. Or, il n'est pas de navire de guerre, grand ou petit, qui ne puisse, sans gêner aucunement ses mouvements, loger ces deux petits barils sur sa dunette, ou à la partie arrière de son pont. Placés ainsi d'une manière convenable, ils serviront longtemps, comme nous allons nous en convaincre, à tous les besoins de la télégraphie de nuit qu'ils vont rendre désormais presque infaillible dans la majorité des cas.

« La consommation d'un bec de gaz dont l'intensité égale celle de 12 bougies, est de 30 litres par heure. Or, il faut en convenir, ces nuits sont rares où les besoins imprévus du service exigent un nombre de signaux qui atteigne le chiffre 6. Donc, en admettant que chaque signal dure 3 minutes, et en mettant à 15 le nombre de fois que l'on aura fait de la lumière, il est presque permis d'assurer que la dépense n'atteindra tout au plus que 23 à 24 litres. C'est là la dépense la plus forte ; car, dans les nuits où l'obscurité est profonde, qui sont, on le sait, les plus favorables à la transmission des feux, il suffira bien souvent de produire une lumière ne valant que 4 ou 5 bougies ; c'est ce dont on est parfaitement et très-facilement le maître en n'ouvrant le robinet que d'une petite quantité.

« Quelque incertain que puisse paraître le résultat de ces calculs, il peut néanmoins, je le crois, donner de l'autorité à cette première assertion que 720 litres de gaz formeront un approvisionnement considérable.

« Cette question de dépense touche, au reste, d'une manière beaucoup plus particulière les navires qui font partie d'une escadre ; pour ceux-là, l'approvisionnement de 720 litres peut très-certainement n'être pas inépuisable, mais il suffira, on peut le dire, à de larges besoins. Il n'y aura

aucun inconvénient à ce que ces bâtiments prennent 1,440 litres; la place sur le pont ne leur manquera pas pour loger deux autres petits barils de galère. La question de fuite du gaz est écartée, d'abord, par les bonnes conditions de fabrication de ces petits cylindres, puis par le petit manomètre qui y est adapté et qui indique toujours la pression : dans le cas de fuite, on boucherait alors facilement l'issue.

« Les procédés de fabrication de ce gaz, sont extrêmement simples et permettent de livrer les 1,000 litres de gaz au titre 40 à 3 francs au plus. C'est là un dernier renseignement qui facilitera l'appréciation des conditions dans lesquelles se présente le télégraphe de nuit.

« Pour terminer la question de dépense, une escadre restant généralement peu de temps hors de France, aura toujours la faculté de renouveler son gaz, ou (en tous cas) de le faire renouveler.

« Si le remplacement du gaz devenait impossible, rien n'empêcherait chaque navire de faire son gaz lui-même; il l'extrairait alors de l'eau; la simplicité de cette préparation chimique le place dans de très-bonnes conditions de fabrication. Dans un cylindre de 30 à 40 litres, on met de l'eau, de la vieille ferraille ou du vieux zinc, on y ajoute de temps en temps quelques gouttes d'acide sulfurique et l'hydrogène se dégage, préparation connue de tous et donnée par tous les chimistes. Au moyen d'une petite pompe aspirante et foulante, un homme peut donc comprimer ce gaz dans nos petits gazomètres de dunette. Ceci peut se faire en plein air, sur le pont et sans le moindre danger pour qui que ce soit. Dans tout pays, on pourra trouver ces matières-là, si on ne les avait à bord.

« Enfin, si ceci encore ne se pouvait plus, s'il y avait épuisement complet de gaz, comme je ne modifie en rien les fanaux actuels, il n'y aurait qu'à substituer à l'appareil

à gaz, celui à bougies qui le suivra toujours : on ferait alors les signaux à l'ancienne mode. »

Moteurs électro-chimiques. — La propriété que possède l'électricité de déterminer la combinaison des gaz hydrogène et oxygène quand ils sont mêlés l'un à l'autre dans des proportions convenables pour la formation de l'eau, a été utilisée pour mettre en jeu des moteurs que l'on a appelés pour cela *Moteurs électro-chimiques.* — La fameuse pile hydrodynamique du docteur Carrorio, que nous avons étudiée dans notre premier volume, page 123, était destinée à faire marcher un moteur de cette nature. Il en est de même du moteur électro-chimique de M. A. Moeff, qu'il décrit en ces termes, dans le journal l'*Électricité*, du mois de septembre 1852 :

« En ce moment, nous pouvons le dire, notre machine fonctionne, et, sauf quelques imperfections qu'il est impossible d'éviter dans de premiers essais, la régularité de sa marche est parfaite, et sa force, que nous avons eu tant de peine à régulariser, est aussi facilement extensible que celle de nos machines à vapeur.

« Notre but a été de remplacer la vapeur, moyen trop dispendieux, entraînant surtout la nécessité de poids trop considérables de combustible. Nous avons tenté bien des modes de machines électro-motrices ; les électro-aimants n'ont jamais pu nous donner une somme de force assez considérable pour les grandes machines ; nous sommes bien loin cependant de proscrire leur usage. D'autres, plus savants ou plus heureux, feront peut-être ce que nous n'avons pu faire.

« Vous vous rappelez les nombreuses expériences sur la propulsion par les poudres fulminantes produisant des gaz extensibles (fulmi-coton, etc.)? Il nous a été impossible de régulariser cette force d'une extrême énergie ; jamais la multiplicité des chocs ne nous a donné la continuité d'action.

« Un jour, dans un cylindre, muni de son piston, qui nous avait servi à des expériences, nous remplaçâmes les poudres fulminantes ou plutôt les gaz extensibles produits par leur combustion, par un mélange d'oxygène et d'hydrogène dans leurs proportions relatives pour former de l'eau. Le piston que l'on retirait pour former le vide, facilitait l'introduction des gaz par une lumière étroite... Bien que le cylindre fût fort étroit, la détonation fut assez forte; le vide y était presque complet, le piston plongea dans le cylindre avec une force invincible et n'en fut retiré que difficilement. Dans une seconde expérience, le mélange de gaz étant composé d'hydrogène et d'air atmosphérique, la détonation et la course du piston furent moins puissantes, moins rapides; mais le piston vint rebondir au fond du cylindre sur la couche d'azote restée libre après la combinaison de l'oxygène chimique et de l'hydrogène.

« Voilà la base réelle, fondamentale, de notre machine; la force est le résultat de la raréfaction produite par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène pour former de l'eau. Cette combinaison s'opère, comme on le sait, sous l'influence du contact d'un corps en ignition ou du passage d'une étincelle électrique. C'est ce dernier moyen que nous avons employé, et c'est lui qui nous a fait donner à notre moteur le nom de moteur électro-chimique.

« Chacun sait avec quelle facilité on peut obtenir des quantités immenses d'hydrogène; les matières premières nécessaires à son dégagement sont, dans le commerce, au prix le plus réduit; nous oserions même dire que, par leur combinaison, elles ne font qu'acquérir une valeur nouvelle, car les sels de zinc ou de fer sont tous d'une valeur commerciale bien supérieure à celle de ces métaux.

« La série d'étincelles nécessaires se produit avec la plus extrême facilité, presque sans frais. Nous avons des machines pour lesquelles le courant électrique nécessaire est

entièrement produit par les décompositions chimiques qui s'opèrent dans nos gazogènes. La moindre connaissance des théories physiques et chimiques pourra faire comprendre facilement la formation de ces électro-gazogènes.

« Rien n'est plus facile à régler que le développement des gaz. Il est clair que leur détonation, ou pour mieux dire leur combinaison, car ici la détonation est à peine perceptible, n'ayant lieu qu'au passage des étincelles électriques, le moindre régulateur du courant, avec un interrupteur que l'on peut diriger au moyen d'une simple aiguille de contact, suffit pour régulariser d'une manière absolue leur nombre, la fréquence de leur passage. Nous employons comme régulateur un mouvement électro-magnétique mis en jeu par le courant lui-même, ou un simple mouvement d'horlogerie.

« Nous eussions vivement désiré décrire les modifications nombreuses que nous avons dû faire subir aux cylindres, aux pistons, le mode de disposition de l'appareil, les diverses modifications qui nous permettent de l'adapter aux machines destinées à être mues par la vapeur.

« Néanmoins ce retard dans notre publication, nous ne saurions le regretter d'une manière absolue, car nos machines sont loin d'être parfaites encore, et nous osons espérer que d'autres expérimentateurs, inspirés par le présent article, pourront marcher sur nos traces, nous devancer peut-être... Nous les verrons progresser sans jalousie ; nous ne pouvons, nous, dans l'intérêt de tous, que désirer une communauté de lumières et d'énergie capables de nous faire atteindre le but le plus tôt possible. »

ALBERT MOEFF ET Ce.

Fabrication électrique du diamant. — Il n'y a pas longtemps encore que les alchimistes, recherchant la pierre philosophale, passaient, sinon pour sorciers, du moins pour

des fous. Que devra-t-on dire aujourd'hui de ceux qui transformeront une poudre noire, produit de la fumée ou de la carbonisation, en corps bien plus précieux que l'or, le diamant! Pourtant le fait existe ; il est vrai que les diamants obtenus sont très-petits, mais ce sont des diamants. Or, en admettant que les moyens employés puissent, par l'intermédiaire de machines plus puissantes, avoir un effet plus énergique, qui empêche de croire à la solution complète du problème? Ces machines n'existent pas, dira-t-on, mais elles pourront être construites, et la construction actuelle d'une machine d'induction, pouvant échanger l'étincelle à quarante centimètres de distance, serait bien moins étonnante que ne l'a été celle de la machine Ruhmkorff qui, pour la première fois, a pu transformer l'électricité dynamique en électricité statique. Le diamant, comme on le sait, n'est autre chose que du carbone cristallisé. Comment cristalliser le carbone? Tel était donc le problème à résoudre. Or, tous les degrés possibles de chaleur n'avaient pu, jusqu'à présent, produire cette cristallisation ; l'on n'obtenait toujours que du graphite amorphe quand le carbone était fondu, ou une poussière noire quand il était volatilisé. M. Despretz a eu alors l'idée de faire réagir d'une manière continue, sur le carbone lui-même, l'étincelle électrique ou tout au moins le courant électrique, et c'est ainsi qu'il est arrivé au résultat curieux que nous avons énoncé.

Les procédés d'expérimentation qu'il a employés sont de plusieurs sortes; mais, dans tous ces procédés, le charbon employé était du sucre candi carbonisé; c'est celui qui est le plus pur; il brûle, pour ainsi dire, sans résidu. Le procédé qui a le mieux réussi est fondé sur la volatilisation lente produite par le courant d'induction. Voici comment on dispose l'expérience : on prend un ballon à deux tubulures, disposé comme l'œuf électrique. A la tige inférieure on

attache le cylindre de charbon pur qu'on veut soumettre à l'expérience ; il ne doit avoir que quelques centimètres de longueur sur un centimètre à peine de diamètre. On fixe à la tige supérieure du ballon une douzaine de fils de platine qu'on place en face du charbon, à environ cinq ou six centimètres de distance, puis on fait le vide dans le ballon, et l'on fait passer à travers le système le courant électrique de la machine de Ruhmkorff, de manière que le pôle où se produit la lumière bleue, corresponde aux fils de platine. Ce pôle, comme l'a démontré M. Despretz, est précisément le pôle de la chaleur.

La pile, dans l'expérience de M. Despretz, se composait de quatre éléments de Daniell, réunis deux à deux, et l'expérience a duré plus d'un mois, sans interruption. Au bout de ce temps, il s'est déposé une légère couche noire de charbon sur les fils de platine, et c'est sur cette couche noire que se sont trouvées fixées les cristallisations, très-petites il est vrai, du carbone volatilisé.

Ces cristallisations étaient de deux espèces; les unes étaient des octaèdres noirs, les autres des octaèdres blancs opalins, reposant sur un sommet.

Essayés par M. Gaudin, lapidaire très-distingué, ces cristaux ont présenté tous les caractères des diamants. Ainsi on a pu polir des rubis, *dans un temps très-court*, avec la poussière provenant de ces cristaux, et ces cristaux eux-mêmes ont pu être brûlés sans résidu sensible.

Dans un autre procédé employé par M. Despretz, le charbon pur est déposé directement et lentement par la voie humide, mais il ne donne pas lieu à des cristallisations parfaitement définies, comme dans le procédé par les courants d'induction, et la dureté du dépôt est moindre. Dans un troisième procédé, M. Despretz décompose les combinaisons carbonées par des courants faibles. Dans un quatrième, la machine à deux électricités de Nairne a été employée.

Enfin, dans un cinquième, M. Despretz a fait des mélanges chimiques, sous les conditions les plus propres à donner les résultats cherchés.

Applications des effets calorifiques des courants à la fusion des métaux. — Nous avons vu que l'immense chaleur développée par l'étincelle électrique la rendait susceptible, non-seulement de fondre tous les métaux, même les plus infusibles, mais encore de les volatiliser et de les faire disparaître complétement, par suite du transport de leurs molécules par le courant. Cette propriété a pu être mise à profit dans les arts pour extraire des fragments métalliques d'endroits où il aurait été impossible de les faire déloger. On a usé de ce moyen pour dégager les trous, faits dans le roc vif par des tarières de puits artésiens, lorsque la pointe de ces tarières venait à se rompre à l'intérieur des trous. Dans ce cas, le métal qu'on veut extraire doit constituer le pôle positif du courant, et le fil négatif doit être muni d'un charbon. De cette manière, les particules du métal, au fur et à mesure de leur fusion, se trouvent entraînées et rejetées à l'état pulvérulent.

Dans d'autres cas, on peut employer les effets caloriques de l'électricité à la simple fusion des métaux réputés jusqu'à présent infusibles, tels que le platine, l'iridium, l'osmium, l'osmiure d'iridium, etc.; ils doivent alors être placés dans un creuset de charbon de cornue, et constituer le pôle négatif du circuit. Il faudrait même que cette opération s'effectuât dans le vide, afin d'éviter le contact des particules carbonisées entraînées par le courant, qui pourraient carburer le métal pendant sa fusion. Jusqu'à présent, ces sortes d'applications n'ont pas été nombreuses dans les arts industriels; mais il est évident que, dans l'avenir, les arts métallurgiques en tireront un bon parti.

Défense des issues. — Il arrive malheureusement quelquefois, dans certains pays et dans des temps de commo-

tions politiques, que des domiciles privés se trouvent envahis par des bandes errantes, dont le but, avant tout, est le pillage. Ni grilles, ni portes ne peuvent les arrêter, et l'on se trouve pris chez soi à l'improviste, sans avoir eu le temps de songer à se défendre. Au moyen d'un système électrique bien simple, on peut rendre difficile, sinon impossible, ces sortes de coups de main. Supposez, en effet, que ce soit la grille d'une cour qu'il s'agit de défendre.

Une machine de Ruhmkorff sera installée dans l'une des pièces de la maison, et deux fils, couverts de gutta-percha, iront, par-dessous terre, établir une relation entre la machine et la grille, afin de communiquer à celle-ci l'effet foudroyant du courant d'induction. Pour cela, l'un de ces fils sera soudé en un point quelconque de la grille, tandis que l'autre sera en rapport avec une grande plaque de zinc, placée devant son seuil. Alors ceux qui viendraient pour forcer l'entrée de la cour se trouveraient dans le même cas, en touchant la grille, que s'ils tenaient entre les mains les deux manipules d'une machine à commotion. Or, comme les commotions de la machine de Ruhmkorff sont intolérables, ils auraient bien vite lâché prise.

Cependant, comme ce moyen pourrait ne pas être suffisant en cas d'une attaque sérieuse, on pourrait faire réagir le courant de la machine pour faire sauter une mine ou des obus qu'on aurait eu soin de préparer à l'avance, à cet effet, sous le seuil de la porte, et, comme ce moyen pourrait être répété plusieurs fois sur le chemin qu'auraient à parcourir les bandits, ils pourraient être cruellement punis de leur audace.

Il est facile de comprendre qu'en garnissant une porte de bois de feuilles de papier d'étain, que l'on pourrait même peindre afin de les dissimuler à la vue, on mettrait cette porte dans les mêmes conditions qu'une grille pour agir électriquement.

Machines infernales russes.— On a beaucoup parlé, il y a dix-huit mois, de certains brûlots ou fulgurateurs électriques immergés en différents points de la mer Baltique, dans le but de faire sauter les navires qui viendraient à les rencontrer. Ces appareils qui ont même été représentés dans plusieurs journaux politiques n'ont pas encore été parfaitement expliqués, et le rôle de l'électricité n'y est pas bien déterminé. Si l'on en juge par les descriptions qui en ont été publiées, ce genre de machine infernale n'aurait rien de bien redoutable. C'est tout simplement un cône renversé, la base en haut, la pointe en bas, lesté par des blocs arrondis de granit, divisé en deux compartiments, l'un inférieur contenant 6 à 8 livres de poudre, l'autre supérieur plein d'air qui fait flotter l'appareil. Un tube rempli de poudre coton traverse le compartiment supérieur et pénètre au sein de la poudre dans le compartiment inférieur. Son autre extrémité est en communication avec une fiole en verre rempli d'acide sulfurique, supportée par des barres de zinc, et qui doit se briser quand un vaisseau vient heurter ces barres. — « L'acide, dit *le Cosmos*, coule alors dans le tube, « enflamme la poudre coton ; le coton enflammé met à son « tour le feu à la poudre à canon du réservoir inférieur et « l'appareil saute. » Reste à savoir maintenant comment l'acide sulfurique, en s'écoulant sur la poudre coton, peut l'enflammer, car je ne suppose pas que ce soit son action directe puisqu'on fait la poudre coton au moyen d'acide sulfurique uni à de l'azotate de potasse. Je crois plutôt que ce système est disposé de manière à constituer un élément de Wollaston non chargé quand la fiole est intacte, mais se chargeant au moment où l'acide vient à se répandre sur les barres de zinc. De cette charge résulte un courant suffisant pour rougir un petit fil de fer très-fin placé au sein de la poudre coton et provoquer l'explosion de la machine. La communication de la fiole d'acide avec le fulmi-coton pour-

rait aussi avoir pour but de dessécher cette poudre afin de la rendre toujours susceptible de prendre feu. Cette explication, toutefois, n'est qu'une simple supposition qu'il serait facile d'éclaircir en étudiant de plus près ces appareils.

Application de l'électricité à la pêche d'objets en fer. — On a souvent appliqué la force attractive des électro-aimants à la pêche d'objets en fer perdus soit dans la mer, soit dans des rivières profondes. On comprend, en effet, qu'en promenant au fond de l'eau un électro-aimant en activité, il attirera à lui tous les objets de fer qu'il rencontrera sur son passage, et, dès lors, on pourra ramener ceux-ci hors de l'eau. Un électro-aimant, disposé dans ce but, doit être enveloppé dans une petite boîte en cuivre ne laissant sortir extérieurement que ses deux pôles; encore faut-il que ces pôles soient soigneusement soudés sur la paroi de la boîte de cuivre qu'ils traversent, pour empêcher l'introduction de l'eau. Les fils de l'électro-aimant doivent aboutir, à l'intérieur de la boîte, à deux gros fils de cuivre recouverts d'une couche épaisse de gutta-percha, et qui ressortent de la boîte de cuivre par deux trous entourés de rondelles de caoutchouc durci. Ces fils, au sortir de ces trous, doivent s'enrouler autour de deux crochets, afin que ce soient ces crochets qui supportent l'effort de la traction exercée sur l'électro-aimant quand on le ramène hors de l'eau. Il est bon même de n'opérer cette traction que par l'intermédiaire d'une corde que l'on accroche directement à la boîte de cuivre.

III.

APPAREILS FONDÉS SUR LES RÉACTIONS DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

L'évaporation, l'acte de la végétation, la combustion et la plupart des effets physiques ou chimiques qui se mani-

festent à la surface de notre globe, donnent lieu à un dégagement permanent d'électricité qui est plus ou moins abondant, suivant les différentes saisons. Ainsi, par les plus beaux temps, quand le ciel est sans nuages, toutes les couches de l'air atmosphérique sont chargées d'électricité. Ce fait constaté pour la première fois en 1752, par Le Monnier, membre de l'Institut, a été confirmé ensuite par Saussure et par tous les physiciens qui ont fait des recherches sur l'électricité atmosphérique. Il est, de plus, résulté de leurs savantes et ingénieuses expériences :

1° Que l'air serein en pleine campagne, loin des arbres et des maisons, est presque toujours chargé d'électricité positive, très-rarement d'électricité négative ;

2° Que dans le cours de la journée, l'électricité atmosphérique atteint deux maxima et deux minima. Les maxima ont lieu quelques instants après le lever du soleil et quelques instants après son coucher. L'un des minima se montre en général vers deux ou trois heures de l'après-midi, tandis que l'autre a lieu pendant la nuit ;

3° Que l'électricité atmosphérique augmente à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère ;

4° Qu'en hiver, l'électricité atmosphérique paraît beaucoup plus intense que pendant l'été ;

5° Que quand le ciel est couvert de nuages, l'électricité atmosphérique change souvent de signe dans le cours de la journée, sans doute parce que les nuages sont chargés, les uns d'électricité positive, les autres d'électricité négative.

Dans ces derniers temps, on a fait des recherches plus minutieuses encore, et on a constaté dans l'atmosphère, en outre de cette électricité qui la remplit et qui se trouve à l'état statique des courants électriques atmosphériques. M. de la Rive, de Genève, a même établi sur tous ces phénomènes une théorie très-ingénieuse à laquelle serait lié le

phénomène des aurores boréales. Nous n'entrerons dans aucun détail à cet égard, car ce serait nous écarter considérablement du but que nous nous sommes proposé; qu'il nous suffise d'ajouter à ces quelques considérations sur l'électricité atmosphérique, quelques détails sur les effets de la foudre auxquels se rapportent la plupart des appareils dont nous allons maintenant parler.

Ce n'est qu'en 1749 que Franklin commença à expliquer les phénomènes de la foudre d'après les principes électriques, et pour prouver d'une manière indubitable son hypothèse, il lança dans l'année 1752 son fameux cerf-volant électrique qui fut sur le point de lui coûter la vie. Avec cet appareil, il attaqua les nuages orageux eux-mêmes, et put leur pomper une assez grande quantité d'électricité pour obtenir des étincelles d'une certaine longueur. En 1757, M. de Romas employant un moyen analogue put tirer des lames de feu de trois à quatre mètres de longueur sur dix à douze centimètres d'épaisseur. Ces lames de feu qui se succédaient avec une grande rapidité, produisaient à chaque décharge un bruit semblable à un coup de pistolet. Après ces expériences et beaucoup d'autres encore, les phénomènes de la foudre purent être facilement expliqués, et ce fut alors que Franklin conçut la magnifique idée d'annuler les effets désastreux de ce terrible élément, en lui opposant ses réactions physiques elles-mêmes.

Ainsi l'atmosphère, en outre de l'électricité à l'état libre qui s'y trouve en tous temps répandue, peut se trouver chargée, dans certaines circonstances et sur des points limités de son étendue, d'une dose considérable d'électricité, et cette électricité dégagée sous l'influence de réactions physiques toutes locales, se trouve portée par les nuages orageux.

Comme les circonstances dans lesquelles s'opèrent ces dégagements subits d'électricité sont différentes, et que des

réactions par influence s'exercent entre les nuages électrisés et ceux qui ne le sont pas, il arrive le plus souvent que des différents nuages se trouvent chargés d'électricités contraires. Les uns possèdent de l'électricité positive, les autres de l'électricité négative. Il en résulte que quand ces nuages se trouvent en présence les uns des autres, il y a combinaison entre leurs électricités et par conséquent décharge électrique. De là des éclairs avec accompagnement de tonnerre. Mais ces éclairs, que l'on peut facilement distinguer dans ce cas à la lueur diffuse à laquelle ils donnent lieu et qui apparaissent derrière un premier rideau de nuages, ne sont pas dangereux car la réaction électrique s'opère alors de nuages à nuages dans les régions élevées de l'atmosphère. Malheureusement il n'en est pas toujours ainsi, et les éclairs peuvent être échangés des nuages à la terre. Alors des désastres plus ou moins graves peuvent être causés. Dans ce cas la réaction électrique se fait par influence. Le nuage orageux qui sera, je suppose, chargé d'électricité positive décompose par influence les électricités à l'état naturel du point du globe le plus voisin, et l'électricité négative étant attirée en ce point provoque une décharge, absolument comme dans le cas de deux nuages électrisés différemment. Mais un fait important à constater, c'est que la réaction électrique se porte toujours de préférence sur les corps les plus rapprochés du nuage orageux, par conséquent, sur les objets élevés ou, à distance égale, sur les corps meilleurs conducteurs, parce que d'un côté l'effet par influence est plus énergique, et de l'autre la décomposition des électricités du corps influencé se fait plus facilement.

PARATONNERRES.

D'après ce que nous venons de voir, le tonnerre frappe directement les corps conducteurs; s'il frappe quelquefois

les corps non conducteurs, c'est toujours d'une manière indirecte, et pour arriver aux corps conducteurs dont les électricités ont été décomposées par influence. Une maison, un édifice peuvent être frappés indirectement, à raison du sol sur lequel ils se trouvent; ou directement, à raison des conducteurs dont ils se composent. Les conducteurs sont surtout les métaux de toute espèce, apparents sur les couvertures, dans les appartements, ou cachés soit dans les charpentes, soit même dans les maçonneries; puis les tuyaux des cheminées où le feu est allumé, car l'air chaud et humide est un assez bon conducteur. Les nuages orageux agissent par influence sur tous ces corps, et pour les préserver d'une décharge foudroyante, il ne s'agit pas de prévenir la réaction électrique, ce qui serait impossible, mais seulement de l'atténuer en la déplaçant. Tel est le principe du paratonnerre.

La question des paratonnerres est tellement importante, les conséquences qui peuvent résulter de leur mauvais établissement sont si désastreuses, qu'à deux reprises différentes le gouvernement français s'est adressé à l'Académie des sciences pour obtenir des instructions circonstanciées sur la construction et l'installation de ces appareils. La première de ces instructions a été faite par M. Gay-Lussac en 1823 au nom d'une commission composée de MM. Poisson, Lefèvre, Gineau, Girard, Dulong et Fresnel. La seconde a été récemment rédigée par M. Pouillet au nom d'une commission composée de MM. Becquerel, Babinet, Duhamel Despretz, Cagniard de Latour.

Ces instructions en dehors de l'autorité des noms illustres qui s'y trouvent attachés sont en quelque sorte officielles, puisqu'elles émanent du ministère de l'Intérieur et qu'elles ont été envoyées par tous les autres ministères aux chefs de constructions et aux ingénieurs qui peuvent avoir à établir des paratonnerres; eh bien, le croirait-on? on rencontre

souvent encore des fonctionnaires publics, des maires de villages et même de villes qui non-seulement ne veulent pas établir les paratonnerres suivant les règles de la science, mais encore se refusent aux avis des hommes compétents, au risque d'attirer la foudre sur les édifices qu'ils croient protéger.

Comme un paratonnerre installé dans de mauvaises conditions est infiniment plus dangereux qu'utile, nous croyons devoir reproduire ici les deux instructions publiées par ordre du gouvernement et qui ne seront certainement jamais assez répandues.

Première instruction sur la construction et l'installation des paratonnerres, rédigée par M. Gay-Lussac[1]. — Un paratonnerre est une barre métallique s'élevant au-dessus d'un édifice et descendant, sans aucune solution de continuité, jusque dans l'eau d'un puits ou dans un sol humide. On donne le nom de *tige* à la partie verticale qui se projette dans l'air au-dessus du toit, et celui de conducteur à la portion de la barre qui descend depuis le pied de la tige jusque dans le sol.

De la tige. — La tige est une barre de fer carrée, amincie de sa base à son sommet, en forme de pyramide. Pour une hauteur de 7 à 9 mètres (21 à 27 pieds), qui est la hauteur moyenne des tiges qu'on place sur les grands édifices, on lui donne à sa base de 54 à 60 millimètres de côté (25 à 26 lignes); on lui donnerait 63 millimètres (28 lignes), si elle devait s'élever a 10 mètres (30 pieds)[2].

Le fer étant très-exposé à se rouiller par l'action de l'eau

1. Nous avons supprimé toute la partie théorique de cette instruction, car elle est en dehors du but que nous nous sommes proposé dans cet ouvrage.

2. La manière la plus avantageuse de faire une barre pyramidale est de souder bout à bout des morceaux de fer, chacun d'environ 80 centimètres (2 pieds 1/2) de longueur, et d'un calibre décroissant.

et de l'air, la pointe de la tige serait bientôt émoussée; pour obvier à cet inconvénient, on retranche de l'extrémité de la tige une longueur d'environ 55 centimètres (20 pouces), et on la remplace par une tige conique de cuivre jaune, dorée à son extrémité, ou terminée par une petite aiguille de platine de 5 centimètres (2 pouces) de longueur[1]. L'aiguille de platine est soudée, à la soudure d'argent, avec la tige de cuivre. Celle-ci se réunit à la tige de fer au moyen d'un goujon qui entre à vis dans toutes deux; il est d'abord fixé dans la tige de cuivre par deux goupilles à angle droit, et on le visse ensuite dans la tige de fer, dans laquelle il est aussi retenu par une goupille. On peut, sans aucun inconvénient, ne point employer de platine et se contenter de la tige conique de cuivre, et même ne pas la dorer si on n'en a pas la facilité sur les lieux. Le cuivre ne s'altère pas profondément à l'air; et, en supposant que sa pointe s'émoussât légèrement, le paratonnerre ne perdrait pas pour cela son efficacité.

Une tige de paratonnerre, de la dimension supposée, étant d'un transport difficile, on la coupe en deux parties, D et E, fig. 20, pl. IV, au tiers ou aux deux cinquièmes environ de sa longueur, à partir de sa base. La partie supérieure s'emboîte exactement, par un tenon pyramidal de 19 à 20 centimètres (7 à 8 pouces), dans la partie inférieure, et une goupille l'empêche de s'en séparer. On doit cependant, autant qu'on le pourra, ne faire la tige que d'une seule pièce, parce qu'elle aura plus de solidité.

Au bas de la tige, à 8 centimètres (3 pouces) du toit, est une embase soudée au corps même de la tige; elle est destinée à rejeter l'eau de pluie qui coulerait le long de la tige,

1. On peut remplacer l'aiguille de platine par une aiguille faite avec l'alliage des monnaies d'argent, qui est composé de 9 parties d'argent et 1 de cuivre.

et à l'empêcher de s'infiltrer dans l'intérieur du bâtiment, et de pourrir les bois de la toiture[1].

Immédiatement au-dessus de l'embase, la tige est arrondie sur une étendue d'environ 5 centimètres (2 pouces), pour recevoir un collier brisé à charnière, portant deux oreilles, entre lesquelles on serre l'extrémité du conducteur du paratonnerre, au moyen d'un boulon; on voit le plan de ce collier au-dessous de la tige, fig. 23, pl. IV. Au lieu du collier, on peut faire un étrier carré qui embrasse étroitement la tige. Enfin on peut encore, pour diminuer le travail, souder un tenon à la place du collier; mais il faut avoir soin de ne pas affaiblir la tige en cet endroit, qui est celui où elle doit opposer le plus de résistance, et le collier ou l'étrier sont préférables.

La tige du paratonnerre se fixe sur le toit des bâtiments, selon les localités. Si elle doit être posée au-dessus d'une ferme, on perce le faîtage d'un trou dans lequel on fait passer le pied de la tige, et on l'assujettit contre le poinçon au moyen de plusieurs brides. Cette disposition est très-solide, et doit être préférée lorsque les localités le permettent.

Lorsqu'on doit fixer la tige sur le faîtage, on le perce d'un trou carré de mêmes dimensions que le pied de la tige, et, par dessus et en dessous, on fixe, avec quatre boulons ou deux étriers boulonnés qui embrassent et serrent le faîtage, deux plaques de fer de 2 centimètres (9 lignes) d'épaisseur, portant chacune un trou correspondant à celui fait dans le bois. La tige s'appuie, par un petit collet, sur la plaque supérieure, contre laquelle on la presse fortement au moyen d'un écrou se vissant sur l'extrémité de la tige contre la plaque inférieure; mais, si on pouvait s'appuyer

1. Pour faire l'embase, on soude un anneau de fer sur la tige, et on l'étire circulairement sur l'enclume en inclinant ses bords de manière à obtenir un cône tronqué très-aplati.

sur un support, on souderait à la tige deux oreilles qui embrasseraient les faces supérieures et latérales du faîtage, et descendraient jusqu'au support, sur lequel on les fixerait au moyen d'un boulon.

Enfin, si le paratonnerre devait être placé sur une voûte, on le terminerait par trois ou quatre empatements ou par des contre-forts qu'on scellerait dans la pierre, comme d'ordinaire, avec du plomb.

Du conducteur du paratonnerre. — Le conducteur du paratonnerre est, comme on l'a dit, une barre de fer partant du pied de la tige et se rendant dans le sol. On donne à cette barre 15 à 20 millimètres (7 à 8 lignes) en carré; mais 15 millimètres (7 lignes) sont réellement suffisants. On la réunit solidement à la tige en la pressant entre les deux oreilles du collier O (fig. 23, pl. IV), au moyen d'un boulon; ou bien on la termine par une fourchette qui embrasse la queue de l'étrier, et on boulonne les deux pièces ensemble.

Le conducteur ne pouvant être d'une seule pièce, on réunit plusieurs barres bout à bout pour le former. La meilleure manière est celle représentée par la figure 21, pl. IV. Il est soutenu à 12 ou 15 centimètres (5 ou 6 pouces), parallèlement au toit, par des crampons à fourche, auxquels, pour empêcher l'infiltration de l'eau par leur pied dans le bâtiment, on donne la forme suivante :

Au lieu de se terminer en pointe, ils ont une patte (fig. 22 et 24) formée par une plaque mince de 25 centimètres de long sur 4 de large, à l'extrémité de laquelle s'élève la tige du crampon, en faisant avec la plaque ou un angle droit (fig. 22), ou un angle égal à celui que forme le toit avec la verticale (fig. 24). La patte se glisse entre les ardoises; mais, pour plus de solidité, on remplace par une lame de plomb l'ardoise sur laquelle elle reposerait, et on cloue ensemble, au-dessus d'un chevron, cette lame et la patte du crampon. Le conducteur est retenu dans chaque fourchette

par une goupille rivée, et les crampons sont placés à environ 3 mètres les uns des autres.

Le conducteur, après s'être replié sur la corniche du bâtiment sans la toucher, s'applique contre le mur le long duquel il doit descendre dans le sol, et se fixe au moyen de crampons que l'on fiche ou que l'on scelle dans la pierre. Arrivé dans le sol, à 50 ou 55 centimètres (18 ou 20 pouces) au-dessous de sa surface, il se recourbe perpendiculairement au mur, se prolonge dans cette nouvelle direction l'espace de 4 à 5 mètres (12 à 15 pieds), et s'enfonce ensuite dans un puits ou dans un trou fait dans la terre, de la profondeur de 4 à 5 mètres (12 à 15 pieds) si l'on ne rencontre pas l'eau, mais à une profondeur moindre si on la rencontre plus tôt.

Le fer enfoncé dans le sol, en contact immédiat avec la terre et l'humidité, se couvre d'une rouille qui gagne peu à peu son centre, et finit par le détruire. On évite cette altération en faisant courir le conducteur dans un auget rempli de charbon. On construit l'auget de la manière suivante :

Après avoir fait une tranchée dans le sol de 55 à 60 centimètres (20 à 22 pouces) de profondeur, on y pose un rang de briques à plat, sur le bord desquelles on en place d'autres de champ; on met une couche de *braise de boulanger* de l'épaisseur de 3 à 4 centimètres (1 à 1 pouce et demi) sur les briques du fond; on pose le conducteur par-dessus; on achève de remplir l'auget de braise, et on le ferme par un rang de briques. La tuile, la pierre ou le bois peuvent également être employés pour former l'auget. On a l'expérience que le fer, ainsi enveloppé de charbon, n'éprouve aucune altération dans l'espace de trente années. Mais le charbon n'a pas seulement l'avantage d'empêcher le fer de se rouiller dans la terre; comme il conduit très-bien la matière électrique quand il a été rougi (et c'est pour cela que nous

ayons recommandé d'employer la braise de boulanger), il facilite l'écoulement de la foudre dans le sol.

Le conducteur, sortant de l'auget dont on vient de parler, perce le mur du puits dans lequel il doit descendre, et s'immerge dans l'eau de manière à y rester plongé de 65 centimètres (2 pieds) au moins dans les plus basses eaux. Son extrémité se termine ordinairement par deux ou trois racines, pour faciliter l'écoulement de la matière électrique du conducteur dans l'eau. Si le puits est placé dans l'intérieur du bâtiment, on percera le mur de ce dernier au-dessous du sol, et on dirigera, par l'ouverture qu'on aura faite, le conducteur dans le puits.

Lorsqu'on n'a pas de puits à sa disposition pour y faire descendre le conducteur du paratonnerre, on fait dans le sol, avec une tarière de 13 à 16 centimètres (5 à 6 pouces) de diamètre, un trou de 3 à 5 mètres (9 à 15 pieds) de profondeur; on y fait descendre le conducteur, en le tenant à égale distance de ses parois, et on remplit l'espace intermédiaire avec de la braise que l'on comprime autant que possible. Mais, lorsqu'on voudra ne rien épargner pour établir un paratonnerre, nous conseillons de creuser un trou beaucoup plus large, au moins de 5 mètres de profondeur, à moins qu'on ne rencontre l'eau plus tôt; de terminer l'extrémité du conducteur par plusieurs racines, de les envelopper de charbon si elles ne plongent pas dans l'eau, et d'en entourer de même le conducteur au moyen d'un auget de bois que l'on en emplira.

Dans un terrain sec, comme, par exemple, dans un roc, on donnera à la tranchée qui doit recevoir le conducteur une longueur au moins double de celle qui a été indiquée pour un terrain ordinaire, et même davantage, s'il était possible d'arriver jusque dans un endroit humide. Si les localités ne permettent pas d'étendre la tranchée en longueur, on en fera d'autres transversales, dans lesquelles

on placera de petites barres de fer entourées de braise, que l'on fera communiquer avec le conducteur. Dans tous les cas, l'extrémité de ce dernier doit s'enfoncer dans un large trou, s'y diviser en plusieurs racines, et être recouverte de braise ou de charbon qui aura été rougi.

En général, on doit faire les tranchées pour le conducteur dans l'endroit le plus humide autour du bâtiment, les placer, par conséquent, dans les lieux les plus bas, et diriger au-dessus les eaux pluviales, afin de les tenir dans un état plus constant d'humidité. On ne saurait trop prendre de précautions pour procurer à la foudre un prompt écoulement dans le sol, car c'est principalement de cette circonstance que dépend l'efficacité des paratonnerres.

Les barres de fer qui forment le conducteur présentant, en raison de leur rigidité, quelque difficulté pour leur faire suivre les contours d'un bâtiment, on a imaginé de les remplacer par des cordes métalliques qui, indépendamment de leur flexibilité, ont encore l'avantage d'éviter les raccords et de diminuer les chances de solution de continuité. On réunit quinze fils de fer pour faire un toron, et quatre de ces torons forment la corde, qui alors a 16 à 18 millimètres (7 à 8 lignes) de diamètre. Pour prévenir sa destruction par l'air et l'humidité, chaque toron est goudronné séparément, et la corde l'est ensuite avec beaucoup de soin. On l'attache à la tige du paratonnerre de la même manière que le conducteur fait avec des barres de fer, c'est-à-dire qu'on la pince fortement au moyen d'un boulon entre les deux oreilles d'un collier, qui sont à cet effet un peu concaves et hérissées de quelques pointes pour mieux embrasser et retenir la corde. Les crampons qui la supportent sur le toit, au lieu d'être terminés en fourche, le sont par un anneau O (fig. 24) dans lequel passe la corde. Parvenue à 2 mètres (6 pieds) du sol, on la réunit à une barre de fer de 15 à 25 millimètres (6 à 9 lignes) en carré qui termine le con-

ducteur; car, dans le sol, la corde serait promptement détruite. On assure que des cordes ainsi employées n'ont pas éprouvée d'altérations sensibles pendant trente années. Néanmoins, comme il est incontestable que les barres de fer bien assemblées sont beaucoup moins destructibles, nous conseillons de leur donner la préférence autant qu'on le pourra. Si les localités obligeaient à employer des cordes, on pourrait les faire en fil de cuivre ou de laiton, qui est beaucoup moins destructible, et qui, étant aussi meilleur conducteur, permettrait de ne donner aux cordes que 16 millimètres (6 lignes) de diamètre. C'est surtout pour les clochers que les cordes métalliques peuvent être d'une grande utilité, à cause de la facilité de leur pose.

Si le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme des pièces métalliques un peu considérables, comme des lames de plomb qui recouvrent le faîtage et les arêtes du toit, des gouttières en métal, de longues barres de fer pour assurer la solidité de quelque partie du bâtiment, il sera nécessaire de les faire toutes communiquer avec le conducteur du paratonnerre; mais il suffira d'employer, pour cet objet, des barres de 8 millimètres (3 lignes) de côté, ou du fil de fer d'un égal diamètre. Si cette réunion n'avait pas lieu, et que le conducteur renfermât quelque solution de continuité, ou qu'il ne communiquât pas très-librement avec le sol, il serait possible que la foudre se portât avec fracas du paratonnerre sur quelqu'une des parties métalliques. Plusieurs accidents ont eu lieu par cette cause; nous en avons cité deux exemples au commencement de cette instruction[1].

Paratonnerres pour les églises. — Le paratonnerre dont

1. Nous devons plusieurs des détails de construction que nous venons de donner à M. Mérot, habile constructeur de paratonnerres, qui, à notre demande, nous a communiqué avec empressement les résultats de sa pratique.

on vient de donner les détails de construction, et que l'on a pris pour type, est applicable à toute espèce de bâtiments, aux tours, aux dômes, aux clochers et aux églises, avec de très-légères modifications.

Sur une tour, la tige du paratonnerre doit s'élever de 5 à 8 mètres (15 à 24 pieds), suivant l'étendue de sa plate-forme; 5 mètres suffiront pour les plus petites, et 8 pour les plus grandes.

Les dômes et les clochers, dominant ordinairement de beaucoup les objets circonvoisins, un paratonnerre placé à leur sommet ne doit pas être très-grand pour étendre son influence au loin, et n'a pas besoin, par conséquent, de s'élever à la même hauteur que sur les édifices terminés par un toit très-étendu. D'un autre côté, l'impossibilité d'établir solidement des tiges de 7 à 8 mètres (21 à 24 pieds) sur les dômes et les cloclers, sans des dépenses considérables, doit faire renoncer à en employer dans ces dimensions. Nous conseillons donc, pour ces édifices, et surtout pour ceux dont le sommet est d'un accès difficile, de n'employer que des tiges minces, s'élevant de 1 à 2 mètres (3 à 6 pieds) au-dessus des croix qui les terminent. Ces tiges étant alors très-légères, il sera facile de les fixer solidement à la tête des croix, sans que la forme de ces dernières paraisse altérée de loin, et sans que le mouvement des girouettes qu'elles portent ordinairement en soit gêné.

Nous pensons même que, pour peu qu'on éprouve des difficultés à placer ces tiges sur un dôme ou sur un clocher, on peut les supprimer entièrement. Il suffira, pour défendre ces édifices des atteintes de la foudre, d'établir, comme pour le cas où ils sont armés de tiges, une communication très-intime entre le pied de chaque croix et le sol. Cette disposition, qui est très-peu dispendieuse et qui offre également une très-grande sûreté, sera surtout avantageuse pour les clochers des petites communes rurales.

Quant aux églises, lorsqu'elles ne seront pas protégées par le paratonnerre de leur clocher, il sera nécessaire de les armer avec des tiges de 5 à 8 mètres (15 à 24 pieds) de haut, semblables à celle qui a été décrite pour un édifice aplati.

Paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières. — La construction des paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières ne diffère pas essentiellement de celle qui a été décrite comme type pour toute espèce de bâtiment; on doit seulement redoubler d'attention pour éviter la plus légère solution de continuité, et ne rien épargner pour établir entre la tige du paratonnerre et le sol la communication la plus intime. Toute solution de continuité donnant lieu, en effet, à une étincelle, le pulvérin qui voltige et se dépose partout dans l'intérieur et même à l'extérieur de ces bâtiments serait enflammé, et pourrait propager son inflammation jusqu'à la poudre. C'est par ce motif qu'il serait très-prudent de ne point placer les tiges sur les bâtiments mêmes, mais bien sur des mâts qui en seraient éloignés de 2 à 3 mètres. Il sera suffisant de donner aux tiges 2 mètres de longueur; mais on donnera aux mâts une hauteur telle, qu'avec leur tige ils dominent les bâtiments au moins de 4 à 5 mètres. On fera aussi très-bien de multiplier les paratonnerres plus qu'on ne le ferait partout ailleurs; car ici les accidents sont des plus funestes. Si le magasin était très-élevé, comme, par exemple, une tour, les mâts seraient d'une construction difficile et dispendieuse pour leur donner de la solidité : on se contenterait, dans ce cas, d'armer le bâtiment d'un double conducteur, sans tige de paratonnerre, qu'on pourrait faire en cuivre. Ce conducteur, n'étendant pas son influence au delà du bâtiment, ne pourrait attirer la foudre de loin, et il aurait cependant l'avantage de garantir le bâtiment de ses atteintes s'il en était frappé; de sorte que

ceux-là même qui rejettent les paratonnerres parce qu'ils croient qu'ils déterminent la foudre à tomber sur un bâtiment qu'elle eût épargné sans eux, ne pourraient faire aucune objection fondée contre la disposition qui vient d'être indiquée. On pourrait armer d'une manière semblable un magasin ordinaire ou tout autre bâtiment. A défaut de paratonnerres, des arbres élevés, disposés autour des bâtiments à 5 ou 6 mètres de leurs faces, les défendent efficacement de la chute de la foudre.

Paratonnerres pour les bâtiments de mer. — Pour un vaisseau, la tige du paratonnerre se réduit à la partie en cuivre AC (pl. IV, fig. 20) qui a été décrite pour le paratonnerre type. Cette tige est vissée sur une verge de fer ronde, qui entre dans l'extrémité de la flèche du mât de perroquet, et qui porte une girouette. Une barre de fer, liée au pied de la verge, descend le long de la flèche et se termine par un crochet ou anneau, auquel s'attache le conducteur du paratonnerre, qui est ici une corde métallique; celle-ci est maintenue, de distance en distance, par un cordage, et, après avoir passé dans un anneau fixé au porte-hauban, elle se réunit à une barre ou plaque de métal qui communique avec le doublage en cuivre du vaisseau. Sur les bâtiments de peu de longueur, on n'établit ordinairement qu'un paratonnerre au grand mât; sur les autres, on en met un second au mât de misaine.

Disposition générale des paratonnerres sur un édifice. — On admet, d'après l'expérience, qu'une tige de paratonnerre protége efficacement contre la foudre autour d'elle un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur. Ainsi, d'après cette règle, un bâtiment de 20 mètres (60 pieds) en long ou en carré n'aurait besoin, pour être défendu, que d'une seule tige de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hauteur, élevé sur le milieu de son toit.

Un bâtiment de 40 mètres (120 pieds), d'après la même

règle, serait défendu par une tige de 10 mètres (30 pieds), et on en place effectivement de semblables; mais il serait préférable, au lieu d'une seule tige, d'en élever deux de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hauteur, et de les disposer de manière que l'espace autour d'elles fût également protégé de toute part, ce à quoi on parviendrait en les plaçant, chacune, à 10 mètres (30 pieds) de l'extrémité du bâtiment, et par conséquent à 20 mètres (60 pieds) l'une de l'autre. Pour trois ou un plus grand nombre de paratonnerres, on suivrait la même règle.

Les paratonnerres des tours et des clochers, en raison de leur grande élévation, doivent certainement étendre leur sphère d'action plus loin que s'ils étaient moins élevés, mais cette action s'étend-elle, comme on l'a supposé pour des tiges de 5 à 10 mètres, à une distance double de hauteur de la pointe au-dessus des objets qu'ils dominent? Il est possible qu'elle s'étende même plus loin; mais l'expérience ne nous ayant encore rien appris à cet égard, il sera prudent de disposer les paratonnerres des églises, dans l'hypothèse qu'ils ne protégeront efficacement autour d'eux qu'un espace d'un rayon égal à leur hauteur au-dessus du faîtage du toit de ces églises. Ainsi le paratonnerre d'un clocher, s'élevant de 30 mètres au-dessus du toit d'une église, ne la défendrait plus à 30 mètres de l'axe du clocher; et, si le toit s'étendait au delà, il serait nécessaire d'y placer des paratonnerres, d'après la règle que nous avons prescrite pour les édifices peu élevés.

Disposition générale des conducteurs des paratonnerres.— Quoique nous ayons déjà beaucoup insisté sur la condition d'établir une communication très-intime entre les tiges des paratonnerres et le sol, son importance nous détermine à la rappeler encore. Elle est telle que, si elle n'était pas remplie, non-seulement les paratonnerres perdraient beaucoup de leur efficacité, mais même ils pourraient devenir

dangereux, en appelant la foudre sur eux, quoique dans l'impuissance de la conduire dans le sol. Les autres conditions dont il nous reste à parler sont, sans doute, moins essentielles que cette dernière, mais elles n'en méritent pas moins qu'on y ait égard.

On doit toujours faire parvenir la foudre depuis la tige du paratonnerre jusque dans le sol par la voie la plus courte.

Conformément à ce principe, lorsqu'on placera deux paratonnerres sur un édifice et qu'on leur donnera un conducteur commun, ce qui est, en effet, suffisant, on fera concourir en un point sur le toit, à égale distance de chaque tige, les portions des conducteurs qui ne peuvent être communes; et, à partir de ce point, une barre de fer, de la même dimension que pour un seul paratonnerre, servira de conducteur aux deux.

Lorsqu'on aura trois paratonnerres sur un édifice, il sera prudent de leur donner deux conducteurs. En général, chaque paire de paratonnerres exige un conducteur particulier.

Quel que soit le nombre des paratonnerres placés sur un édifice, on les rendra tous solidaires, en établissant une communication intime entre les pieds de toutes leurs tiges, au moyen de barres de fer de mêmes dimensions que celles des conducteurs.

Lorsque les localités le permettront, on placera les conducteurs sur les murs des bâtiments qui font face au côté d'où viennent le plus fréquemment les orages dans chaque lieu. En effet, ces murs, étant exposés à être mouillés par la pluie, deviennent des conducteurs, imparfaits sans doute, en raison de la mince nappe d'eau qui les couvre; et, si le conducteur du paratonnerre n'était pas en communication intime avec le sol, il serait possible que la foudre l'abandonnât pour se précipiter sur la face mouillée. Un autre

motif encore, c'est que la direction de la foudre peut être déterminée par celle de la pluie, et qu'en outre la face mouillée peut, comme conducteur, appeler la foudre de préférence au paratonnerre. C'est surtout pour les clochers que cette observation est importante et qu'il est nécessaire d'y avoir égard.

Observations sur l'efficacité des paratonnerres. — Une expérience de cinquante années sur l'efficacité des paratonnerres démontre que, lorsqu'ils ont été construits avec les soins convenables, ils garantissent de la foudre les édifices sur lesquels ils sont placés. Dans les États-Unis d'Amérique, où les orages sont beaucoup plus fréquents et plus redoutables qu'en Europe, leur usage est devenu populaire ; un très-grand nombre de bâtiments ont été foudroyés, et l'on en cite à peine deux qu'ils n'aient pas mis entièrement à l'abri des atteintes de la foudre. Tout le monde sait que les parties métalliques sur un édifice sont frappées de préférence par la foudre, et ce fait seul démontre l'efficacité des paratonnerres, qui ne sont que des barres métalliques disposées de la manière la plus avantageuse, d'après les connaissances acquises sur la matière électrique par la théorie et l'expérience. La crainte d'une chute plus fréquente de la foudre sur les édifices armés de paratonnerres n'est pas fondée, car leur influence s'étend à une trop petite distance pour qu'on puisse croire qu'ils déterminent la foudre d'un nuage à se précipiter dans le lieu où ils sont établis. Il paraît, au contraire, certain, d'après l'observation, que les édifices armés de paratonnerres ne sont pas foudroyés plus fréquemment qu'avant l'établissement de ces appareils. D'ailleurs, la propriété d'un paratonnerre d'attirer plus fréquemment la foudre supposerait aussi celle de la transmettre librement dans le sol, et dès lors il ne pourrait en résulter aucun inconvénient pour la sûreté des édifices.

Nous avons recommandé l'usage des pointes aiguës pour

les paratonnerres, parce qu'elles ont l'avantage, sur les barres arrondies à leur extrémité, de verser continuellement dans l'air, sous l'influence du nuage orageux, un torrent de matière électrique de nature contraire à la sienne, qui doit très-probablement se diriger vers celle du nuage et en partie la neutraliser. Cet avantage n'est point du tout à négliger; car il suffit de connaître le pouvoir des pointes, et les expériences de Charles et de Romas avec un cerf-volant sous un nuage orageux, pour rester convaincu que les paratonnerres en pointe, s'ils étaient multipliés et placés sur des lieux élevés, diminueraient réellement la matière électrique des nuages et la fréquence de la chute de la foudre sur la surface de la terre.

Cependant, lorsque la pointe d'un paratonnerre aura été émoussée par la foudre ou par une cause quelconque, il ne faudra pas croire, parce qu'elle aura perdu l'avantage dont on vient de parler, qu'elle ait aussi perdu son efficacité pour protéger le bâtiment qu'elle est destinée à défendre. Le docteur Rittenhouse rapporte qu'ayant souvent examiné et passé en revue, avec un excellent télescope de réflexion, les pointes des paratonnerres de Philadelphie, où ils sont en grand nombre, il en a vu beaucoup dont les pointes étaient fondues, mais qu'il n'a jamais appris que les maisons où ces paratonnerres étaient établis eussent été frappées de la foudre depuis la fusion de leurs pointes. Or cela n'aurait pas manqué d'arriver à quelques-unes, au moins au bout d'un certain temps, si leurs paratonnerres n'avaient pas continué de bien remplir leurs fonctions; car on sait, par nombre d'observations, que, lorsque le tonnerre est tombé en quelque endroit, il n'est pas rare de l'y voir retomber encore.

Pour que le fruit que l'on doit retirer de l'établissement des paratonnerres soit aussi grand que possible, et que l'on puisse profiter de l'expérience acquise sur une localité

pour la faire tourner à l'avantage général, nous formons le vœu que Son Excellence le ministre de l'intérieur, après avoir ordonné l'exécution d'une mesure réclamée depuis longtemps et dont elle sent toute l'utilité, invite les autorités locales à lui transmettre fidèlement tous les renseignements relatifs à la chute de la foudre sur un édifice armé de paratonnerres. Ces renseignements seraient la source d'améliorations importantes, et contribueraient, en faisant connaître les avantages d'un préservatif aussi simple et aussi sûr, à en rendre l'adoption plus générale.

Deuxième instruction sur les paratonnerres, rédigée par M. Pouillet. — En 1823, l'Académie des sciences avait chargé la section de physique de rédiger une instruction spéciale sur les paratonnerres; M. Gay-Lussac fut choisi pour préparer ce travail, et son rapport reçut bientôt l'approbation de la section et celle de l'Académie. Depuis cette époque, l'instruction sur les paratonnerres est devenue en quelque sorte un manuel populaire par la grande publicité qu'on lui a donnée de toutes parts. En France, l'administration supérieure, qui avait demandé ce document, s'empressa de le répandre dans toutes les parties des services publics, afin que peu à peu on parvînt à protéger plus méthodiquement, contre les effets de la foudre, les cathédrales et les églises, si souvent menacées à cause de leurs dispositions architecturales, les fabriques de poudre, les magasins et les arsenaux, les bâtiments à voile ou à vapeur, enfin les édifices de toute espèce et les habitations privées. A l'étranger, ces préceptes généraux et pratiques, approuvés par l'Académie, furent de même accueillis avec empressement et confiance.

Il y a maintenant un siècle que pour la première fois on essaya les paratonnerres; mais leur efficacité ne pouvait pas être admise sans contradiction : les ignorants ne pouvaient pas croire que quelques baguettes de fer, ajustées

d'une certaine manière, fussent capables de maîtriser la puissance de la foudre; et, parmi les savants, il se trouva aussi, sur ce point, bon nombre d'incrédules. De longues épreuves étaient donc nécessaires pour faire prévaloir cette vérité qui avait contre elle tout le monde, hormis Franklin et quelques physiciens d'Europe. Les contradicteurs scientifiques ne se bornaient pas à dire que les paratonnerres étaient inutiles; ils trouvaient des raisons de croire et de faire croire au public que les paratonnerres étaient nuisibles; que, loin d'arrêter la foudre, leur présence en pouvait déterminer l'explosion et la rendre plus funeste. Ainsi, au lieu de rassurer les esprits, on ajoutait encore à la terreur si naturelle qu'inspire ce double météore.

Ces objections n'ont pas empêché la vérité de se faire jour, mais elles en ont retardé le développement; elles sont bien vieilles aujourd'hui, bien timides à se montrer; cependant elles agissent encore, on les rencontre de temps à autre, sinon dans le chemin de la science, du moins dans quelques sentiers voisins. L'instruction publiée en 1823 n'a pas peu contribué à les affaiblir, non-seulement à cause de l'autorité que lui donnait le suffrage de l'Académie, mais encore par les règles pratiques qu'elle indiquait et qu'elle expliquait d'une manière si claire et si précise, qu'il n'y avait plus moyen de les mal interpréter. Les ouvriers eux-mêmes, avec un peu d'attention, parvenaient à comprendre ce qu'ils avaient à faire, et dès lors on n'avait plus à craindre dans la pose des paratonnerres ces erreurs qui auparavant étaient assez communes et qui suffisaient pour en paralyser l'efficacité.

Depuis trente et un ans de grands changements sont survenus, d'une part dans la science de l'électricité, d'autre part dans l'art des constructions, et l'on pourrait croire que les enseignements donnés à cette époque sur le sujet qui nous occupe sont aujourd'hui trop arriérés, qu'il faut

les faire passer dans le domaine de l'histoire, et les recommencer sur de nouvelles bases. Mais les sciences ne procèdent pas ainsi, elles aiment les progrès, chaque jour elles en donnent la preuve, et cependant il est rare qu'elles aient à démolir; les agents naturels restent fidèles à leurs lois, l'action de l'électricité est aujourd'hui ce qu'elle fut toujours, seulement nous la connaissons un peu mieux; les faits observés de notre temps sont venus s'ajouter aux faits antérieurs sans leur porter la moindre atteinte. En 1823, la découverte de l'électro-magnétisme n'avait que trois ans de date; on était loin de prévoir les grands résultats dont elle devait si rapidement enrichir la science; cependant, malgré ces progrès considérables, inespérés, l'instruction sur les paratonnerres n'a aucun besoin d'être réformée, du moins dans ses principes les plus essentiels. Pour ce qui tient à la nature des constructions, c'est un élément nouveau dont il faut tenir compte : en effet, dans un grand nombre de cas, les métaux remplacent aujourd'hui la pierre et le bois; nos édifices deviennent, en quelque sorte, des montagnes métalliques sur lesquelles les nuages orageux ont incomparablement plus de prise. Le palais de l'Industrie, qui s'élève aux Champs-Élysées, en est un exemple; il occupe près de 3 hectares qu'il va couvrir d'une immense construction ayant 40 mètres de hauteur, où il entre partout, depuis la base jusqu'au sommet, des masses énormes de fer, de fonte et de zinc. La compagnie qui a entrepris ce grand monument a désiré obtenir l'avis de l'Académie sur l'ensemble des moyens qu'il y aurait à employer pour le garantir des effets de la foudre. L'Académie a chargé la section de physique d'examiner cette demande et de lui en faire un rapport; à cette occasion, nous avons dû reprendre l'instruction de 1823, afin d'y introduire les modifications dont elle pourrait être susceptible.

C'est seulement d'une manière accidentelle que l'instruc-

tion s'occupe des édifices où il entre des métaux; le seul passage qui s'y rapporte est le suivant :

« Si le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme « des pièces métalliques un peu considérables, comme des « lames de plomb qui recouvrent le faîtage et les arêtes du « toit, des gouttières en métal, de longues barres de fer « pour assurer la solidité de quelques parties du bâtiment, « il sera nécessaire de les faire toutes communiquer avec « le conducteur du paratonnerre; mais il suffira d'employer, « pour cet objet, des barres de 8 millimètres (3 lignes) de « côté, ou du fil de fer d'un égal diamètre. Si cette réunion « n'avait pas lieu, et que le conducteur renfermât quelque « solution de continuité, ou qu'il ne communiquât pas très « librement avec le sol, il serait possible que la foudre se « portât avec fracas du paratonnerre sur quelqu'une des « parties métalliques. Plusieurs accidents ont eu lieu par « cette cause; nous en avons cité deux exemples au com- « mencement de cette instruction. »

Telles sont les indications qui avaient été données : bien qu'elles soient très-générales et peut-être un peu succinctes, elles pouvaient être suffisantes pour leur époque; mais nous pensons que le moment est venu d'entrer, à cet égard, dans de plus amples détails.

Autrefois, dans les constructions ordinaires, l'emploi des métaux était, en effet, restreint presque exclusivement aux faîtages, aux gouttières, aux tirants de consolidation; ce n'était que bien rarement, et comme par exception, que l'on rencontrait, soit une couverture de plomb, de cuivre ou de zinc, tandis que maintenant le métal prédomine de plus en plus; on le met partout, et, ce qui est un point important, on le met en grandes superficies et en grandes masses : couvertures de métal, charpentes de métal, poutres de métal, croisées de métal, colonnes de métal, et et quelquefois peut-être murailles de métal. Alors les

nuages orageux décomposent, par influence, des quantités d'électricité décuples et centuples de celles qu'ils auraient décomposées sur les corps moins bons conducteurs, comme l'ardoise ou la brique, le bois, la pierre, le plâtre, le mortier et tous les anciens matériaux de construction. Ce nouveau système réalise donc sur une immense échelle ce que l'on objectait d'abord aux paratonnerres : il attire la foudre.

Quand l'objection s'appliquait aux paratonnerres, elle n'avait qu'une apparence de vérité ; car il est vrai que le paratonnerre attire la foudre, mais il est vrai aussi que, obéissant aux lois qu'elle a reçues, elle lui arrive en général, sans bruit, sans éclat, et toujours infailliblement domptée et docile, ayant perdu toute sa puissance originelle de destruction. Quand l'objection, au contraire, s'applique à ces amas de substances métalliques qui entrent dans nos constructions actuelles, elle n'est pas seulement spécieuse, elle est juste, profondément juste, fondée sur les lois les mieux établies : ces constructions attirent, en effet, la foudre, et rendent ses coups plus désastreux.

Deux édifices, pareils pour la grandeur et la forme, étant situés sur le même sol et disposés de la même manière par rapport à un nuage orageux, l'un construit en pierre et bois d'après l'ancien système, l'autre en pièces métalliques d'après le nouveau, si les paratonnerres manquent, et que les conditions soient telles que la foudre doive éclater, elle frappera toujours ce dernier et jamais le premier, celui-ci se trouvant protégé par son voisin, dont les fluides sont influencés plus vivement. Il arriverait là ce qui arrive quand on présente en même temps aux conducteurs d'une machine électrique, à la même distance et de la même manière, une boule de pierre ou de bois et une boule de métal ; c'est toujours celle-ci qui reçoit l'étincelle dès qu'on l'approche assez près pour qu'elle éclate. Les paratonnerres sont donc d'autant plus indispensables que les édi-

fices contiennent de plus grandes superficies et de plus grands volumes de subtances métalliques.

Pour se faire une idée juste de toutes les causes qui concourent à l'explosion de la foudre, il ne faut pas considérer seulement les constructions, et en général tous les objets qui s'élèvent au-dessus du sol; il faut tenir compte encore du sol lui-même et de toutes les substances qui le constituent depuis sa surface jusqu'à de grandes profondeurs dans les entrailles de la terre. Un sol aride, composé d'une couche mince de terre végétale, sous laquelle se trouvent d'épaisses formations de sables secs, de calcaire ou de granit, n'attire pas la foudre, parce qu'il n'est pas conducteur de l'électricité; s'il est exposé à ses coups, ce n'est qu'accidentellement après les pluies qui en ont imbibé la surface. Là, les bâtiments participent, jusqu'à un certain point, au privilége du sol, à moins qu'ils ne soient construits dans le nouveau système et qu'ils n'occupent une étendue assez considérable. Mais sous ce sol aride et sec y a-t-il, à plusieurs dizaines de mètres de profondeur, de grands gisements métalliques, de vastes cavernes, des nappes d'eau ou seulement des fontaines abondantes, les nuages orageux exercent leur action sur ces matières conductrices, la foudre est attirée, elle éclate en franchissant l'intervalle; la croûte sèche n'est pas un obstacle insurmontable, elle peut être percée, fouillée, fondue, à peu près comme l'est une couche de vernis par l'étincelle électrique. Alors, malheur aux constructions qui se trouvent sur son passage; fussent-elles de pierre ou de bois, elles sont brisées comme le reste, à moins qu'elles n'aient à opposer pour défense un paratonnerre bien établi. Si ces couches humides ou métalliques se trouvent cachées à des profondeurs plus grandes, le danger de l'explosion diminue par deux causes : d'une part, l'enveloppe qui les couvre devient plus difficile à traverser; d'une autre part, l'action des nuages s'affaiblit par

l'augmentation de la distance. On peut citer, en preuve, les vallées étroites qui ont quelques centaines de mètres de profondeur : la foudre n'y pénètre jamais ; elle peut frapper les crêtes des collines, mais il est sans exemple qu'elle soit descendue jusqu'aux habitations, aux arbres ou aux ruisseaux qui en occupent les parties basses. Ces faits constants donnent en quelque sorte la mesure de l'accroissement de distance aux nuages qui est nécessaire pour être à l'abri du danger.

Il importe de bien remarquer que jamais la foudre ne s'élance sans savoir où elle va, que jamais elle ne frappe au hasard; son point de départ et son point d'arrivée, qu'ils soient simples ou multiples, se trouvent marqués d'abord par un rapport de tension électrique, et au moment de l'explosion, le sillon de feu qui les unit, allant à la fois de l'un à l'autre, commence en même temps par ses deux extrémités. Les herbes, les buissons, les arbres même sont des objets trop petits pour la foudre, ils ne peuvent pas être son but; s'ils sont frappés c'est parce qu'ils se trouvent sur son chemin, c'est parce qu'il y a, au-dessous d'eux, des masses conductrices plus étendues qui sont le but caché d'attraction, qui reçoivent au large l'influence et déterminent l'explosion.

Ainsi les lieux les plus exposés sont les lieux qui, étant les plus rapprochés des nuages, sont en même temps découverts, humides et bons conducteurs; les arbres élevés sur les sommets des coteaux sont soumis à la première condition, les vaisseaux au milieu de la mer sont soumis à la seconde, et il se peut trouver à une hauteur moyenne des localités qui tiennent assez de l'une et de l'autre pour recevoir à la fois les coups les plus fréquents et les plus terribles, car le coup d'un même nuage orageux peut être fort ou faible, suivant l'étendue grande ou petite du corps conducteur qui le fait éclater.

Nous citerons ici quelques faits qui nous paraissent propres à faire mieux comprendre ces principes généraux, et en même temps à justifier les modifications que nous avons à proposer dans la construction du paratonnerre.

Le 19 avril 1827, le paquebot le *New-York*, de 520 tonneaux, venant de New-York à Liverpool, reçut deux coups de foudre; il était alors par 38 degrés de latitude nord et 63 degrés de longitude occidentale, par conséquent à 600 kilomètres des terres les plus voisines.

Au premier coup, n'ayant point de paratonnerre, il eut à éprouver de graves dégâts, comme on en peut juger par ce seul fait bien digne de remarque : un tuyau de plomb communiquant du cabinet de toilette à la mer fut mis en fusion; il avait cependant *huit centimètres* de diamètre et *treize millimètres* d'épaisseur.

Au deuxième coup, le paratonnerre était établi; il se composait d'une baguette de fer conique ayant 1m,20 de longueur, 11 millimètres de diamètre à la base, et d'une chaîne d'arpenteur longue d'environ 40 mètres, établissant la communication entre la mer et le pied du paratonnerre. Cette chaîne était faite avec du fil de fer de 6 millimètres de diamètre; les chaînons avaient 45 centimètres de longueur, terminés en boucles; aux deux bouts, ils étaient réunis par des anneaux ronds.

A l'instant de l'explosion, tout le bâtiment fut éclairé d'une vive lumière; en même temps la chaîne était dispersée de toutes parts en fragments brûlants ou en globules enflammés; le paratonnerre lui-même était fondu sur une longueur de 30 centimètres à partir de la pointe, la fusion s'arrêtant au diamètre de 6 millimètres. Ces globules de fer en combustion, gros comme des balles, mettaient le feu sur le pont en cinquante endroits, malgré une couche de grêle qui le couvrait, malgré la pluie qui tombait à flots. Le reste du paratonnerre était en place,

avec un bout de chaînon de 8 centimètres, et le plus gros fragment de la chaîne retrouvé sur le pont n'avait pas 1 mètre de longueur; il portait des boursouflures qui accusaient l'action du feu.

A ce premier fait nous en joindrons un second plus récent; nous l'empruntons encore aux événements de la mer, parce qu'en général ils sont décrits, à l'instant même et avec précision, par des hommes qui ont l'habitude d'observer. Celui-ci est extrait de la relation que M. le ministre de la marine a adressée dernièrement à l'Académie des sciences.

Le 13 juin 1854, dans la baie de Baltchick, à sept heures du soir, le tonnerre est tombé sur le vaisseau à deux ponts *le Jupiter*, faisant partie de l'escadre de la mer Noire.

Les chaînes des paratonnerres étaient en place; celle du grand mât, qui a reçu le coup, plongeait dans la mer de 2 mètres, portant à son extrémité un boulet de 2 kilogrammes.

Au moment de l'explosion, on a vu une vive lumière; l'intensité du bruit et les tourbillons de fumée ont fait supposer d'abord que c'était un coup de canon parti de l'une des batteries, mais l'erreur n'a duré qu'un instant; la chaîne du paratonnerre avait disparu, on en voyait partout les débris; le gaillard d'arrière, la dunette, le porte-hauban en étaient couverts; plusieurs hommes de l'équipage en avaient reçu dans leurs vêtements, trois d'entre eux en étaient légèrement blessés.

Cette chaîne, d'environ 70 mètres de longueur, qui descendait du pied du paratonnerre jusqu'à la mer, en suivant d'abord la flèche du cacatois, puis en passant dans de larges anneaux de cuivre le long du galhauban de perroquet, n'était autre chose qu'un câble à trois torons, formé en tout d'une soixantaine de fils de laiton : chacun pouvait avoir d'un demi à deux tiers de millimètre d'épaisseur.

La foudre en avait fait des milliers de morceaux plus petits que des épingles; cependant, au milieu de cet amas de fragments épars, on trouvait encore, çà et là, quelques bouts du câble lui-même; ceux-ci avaient tout au plus quelques décimètres de longueur; on voyait à leur surface ces couleurs violettes que le feu donne au métal, et en effet les premiers qu'on a touchés étaient encore brûlants.

Ces deux exemples suffisent pour faire connaître que, dans quelques circonstances, un paratonnerre peut être foudroyé; mais ils font connaître aussi que, même dans ce cas, le paratonnerre n'est pas absolument inutile, puisqu'il reçoit la décharge, puisqu'il la dirige encore, et, par là, détourne les coups qui, en tombant à côté de lui, auraient fait sans doute beaucoup plus de mal.

En définitive, *le Jupiter* n'a eu aucune avarie, tandis que, non loin de lui, d'après la même relation, un vaisseau turc qui avait aussi un paratonnerre, mais dont la chaîne n'était pas à l'eau, ayant reçu pareillement un coup de foudre pendant le même orage, a eu dans son flanc, un peu au-dessus du cuivre et près de la flottaison, un trou de plus de 30 centimètres de profondeur, et tel à peu près qu'aurait pu le faire un boulet de canon.

Cependant un paratonnerre, au lieu d'inspirer la confiance, ferait naître des craintes trop légitimes si, lorsqu'il est bien établi et en bon état, il y avait la moindre probabilité qu'il pût être ainsi frappé, rompu en pièces brûlantes, et lancé au loin comme une mitraille ou comme une pluie de feu.

La question est donc de savoir si de tels accidents sont inévitables, s'ils tiennent essentiellement à la nature des choses, ou s'ils dépendent seulement de quelques vices de construction particuliers aux appareils dont un seul éclat de tonnerre fait tant de débris.

Or les faits que nous venons de rapporter, et tous les au-

tres faits plus ou moins analogues que l'on pourrait trouver dans l'histoire de la foudre et de ses phénomènes si souvent extraordinaires, ne laissent aucun doute sur ce point; tous les paratonnerres qu'elle a détruits étaient de mauvais appareils, insuffisants, mal construits, non conformes aux principes que la théorie a pu déduire de l'expérience. Ce n'est pas que le paratonnerre soit fait pour n'être jamais foudroyé; au contraire, il est fait pour l'être souvent, mais pour l'être à sa manière, et pour résister toujours aux coups les plus violents.

Examinons, en effet, les appareils du *New-York* et du *Jupiter*.

Le paratonnerre du *New-York* avait plusieurs vices de construction : sa tige était trop mince et trop effilée; son conducteur était d'une section beaucoup trop petite; de plus, la forme de chaîne n'est jamais admissible, elle doit être exclue très-sévèrement de tout emploi de cette nature. En voici les raisons : les anneaux ne se touchent qu'imparfaitement, à cause des altérations du métal et des souillures diverses qui s'y attachent; et, en admettant même que les surfaces des points de contact soient bien nettes et métalliques, il arrive toujours qu'elles sont trop étroites, et qu'une faible décharge, resserrée sur ces points, suffit pour y mettre le fer en fusion et en combustion.

La nature de ces défauts indique la nature du remède; seulement on pourrait craindre qu'il ne fallût porter la section des tiges et celle des conducteurs à de telles dimensions, que l'établissement d'un bon paratonnerre ne fût une chose très-difficile et à peu près impraticable dans un grand nombre de cas. Ces craintes sembleraient même justifiées par la première décharge électrique qui tomba sur le *New-York*, puisqu'elle fut capable d'y fondre un tuyau de plomb qui avait une section métallique de près de 30 centimètres carrés. Mais ce fait ne prouve rien autre chose que ce qui

était déjà parfaitement prouvé par les expériences de laboratoire, savoir : que le plomb est le plus mauvais métal que l'on puisse employer comme conducteur de paratonnerre, parce qu'il est trop fusible et trop mauvais conducteur de l'électricité. Ces mêmes expériences indiquent qu'il faut, au contraire, choisir le fer et le cuivre rouge : alors on arrive à des dimensions éminemment praticables et à des prix de revient qui n'ont rien d'exorbitant. Il n'y a pas d'exemples qui montrent que la foudre ait jamais été capable de mettre en fusion des tringles de fer de deux centimètres de diamètre ou 3 centimètres carrés de section, et, bien que le cuivre rouge soit beaucoup plus fusible que le fer, il peut être employé en dimensions encore plus réduites, parce qu'il est, avec l'or, l'argent et le palladium, parmi les meilleurs conducteurs des fluides électriques.

Le paratonnerre du *Jupiter*, quoique mieux établi que le précédent, avait aussi un vice radical de construction. Nous ne dirons rien de la tige, faute de détails suffisants sur les modifications que la décharge a pu y produire; on se borne à dire qu'elle a été tordue; nous ne parlerons que du câble de fil de laiton qui formait le conducteur. Nous avons dit quels phénomènes singuliers de brisement et de projection il a présentés; on peut se rendre compte de ces effets de la manière suivante; on peut croire d'abord qu'il avait simplement une section trop petite, et qu'il a été dispersé par cette cause à peu près comme la chaîne du *New-York;* car il a été bien démontré par Van-Marum, en 1787, que le laiton jouit particulièrement de la propriété d'être brisé en mille pièces par une décharge électrique. Cependant les nombreux fragments du câble qui nous sont parvenus, et que nous avons pu examiner sous tous les aspects, ne portent que quelques traces de fusion; de plus, il arrive qu'aucune de ces traces ne s'étend à l'épaisseur entière du

câble, toutes sont limitées à un groupe de quelques-uns des soixante fils qui le constituent. Cette circonstance nous semble démontrer que la décharge ne s'est pas propagée également par tous les fils, que ceux qu'elle a suivis étant insuffisants pour la transmettre, ont dû être, les uns fondus, les autres brisés ou volatilisés avec cette vive explosion qui accompagne toujours les volatilisations électriques. De là cette rupture du câble et cette projection en fragments de quelques décimètres de longueur qui, brûlants à la main, n'étaient pas cependant chauffés au point d'enflammer le bois et les autres corps combustibles.

Cette explication, toutefois, soulève une question singulière, la question de savoir si, dans un câble de fils pareils, réunis et tordus ensemble, la foudre peut, en effet, choisir quelques fils de préférence au reste, surtout quand leur entière réunion est à peine suffisante pour lui donner un libre passage. Nous n'hésitons pas à répondre affirmativement, du moins sous certaines conditions. Sans doute, si aux deux extrémités du câble, sur une longueur d'environ 1 décimètre, les fils, d'abord étamés séparément, étaient ensuite soudés ensemble pour former, en quelque sorte, un cylindre métallique, jamais il n'arriverait que l'électricité naturelle ou artificielle, ayant à circuler dans la longueur entière du câble, montrât quelque préférence pour l'un ou pour l'autre de ces fils pareils : devenus solidaires, ils subiraient la même loi, ils résisteraient ensemble, ils seraient fondus, volatilisés ensemble. Mais si cette condition n'est pas remplie, si aux deux extrémités, ou plus généralement aux deux points de jonction avec les autres conducteurs, les fils se trouvent isolés entre eux par des couches de poussière ou d'oxyde; si, de plus, le câble ne touche ces conducteurs que par ces fils superficiels, alors les choses se passent tout autrement : les fils ne sont plus égaux ni solidaires, l'électricité choisit ou plutôt elle prend

ceux qui sont en contact avec les conducteurs, et que la torsion du câble amène tantôt à la surface, tantôt au centre du faisceau; ces fils, réduits en petit nombre, deviennent incapables de supporter l'effort, et le câble entier, brisé par l'explosion, présente infailliblement tous les phénomènes qui se sont produits à bord du *Jupiter*, et qui ont été bien décrits par le commandant M. Lugeol.

Ces imperfections graves que nous venons de signaler dans deux paratonnerres foudroyés, bien qu'elles soient différentes à quelques égards, remontent cependant à la même origine et dépendent de la même cause : l'*insuffisance de section*. Dans le premier, cette insuffisance est apparente et en quelque sorte constitutive : un fil de fer de 6 millimètres d'épaisseur ne présente qu'une section neuf ou dix fois trop petite; dans le second, cette insuffisance est plutôt cachée et accidentelle, parce qu'elle résulte de jonctions mal faites. C'est sur ce dernier point que nous devons surtout appeler l'attention.

Les deux règles les plus fondamentales de la construction du paratonnerre et de ses conducteurs sont :

1° Qu'ils aient partout une section suffisante;

2° Qu'ils soient continus et sans lacune depuis la pointe de la tige jusqu'au réservoir commun.

Mais il faut bien expliquer ce que doit être cette continuité, car on peut, à la rigueur, l'entendre de deux manières : on peut admettre que deux pièces de métal qui se touchent forment un ensemble assez continu pour l'électricité; on peut admettre, au contraire, que le plus souvent ce simple contact est l'équivalent d'une lacune, à cause de l'oxydation qui se produit avec le temps et des corps étrangers qui se déposent entre les surfaces.

L'instruction de 1823, sans avoir adopté la première opinion, nous paraît n'avoir pas assez recommandé la seconde, qui, à notre avis, doit être exclusivement mise en

pratique dans tout ce qui appartient aux paratonnerres.

Nous ne nierons pas, sans doute, qu'en multipliant les précautions et les soins on ne puisse parvenir à joindre et à boulonner deux pièces de fer ou de cuivre assez étroitement pour qu'elles offrent au fluide électrique un assemblage véritablement continu; mais, quand les joints doivent se multiplier, nous craignons quelques négligences des ouvriers, et par-dessus tout nous craignons les altérations chimiques des surfaces, les dépôts des diverses matières étrangères, enfin les dislocations mécaniques qui se produisent aussi avec le temps et par des secousses répétées. En conséquence, nous regardons comme indispensables les deux règles pratiques suivantes :

Première règle. — Réduire autant que possible le nombre des joints sur la longueur entière du paratonnerre, depuis la pointe jusqu'au réservoir commun.

Deuxième règle. — Faire, au moyen de la soudure à l'étain, tous ceux de ces joints qu'il est nécessaire de faire sur place, soit à cause de la forme, soit à cause de la longueur des pièces.

Ces soudures à l'étain, qui devront toujours se faire sur des surfaces ayant au moins 10 centimètres carrés, seront, en outre, consolidées par des vis, des boulons ou des manchons.

Ces précautions nous semblent commandées par la prudence, surtout pour les édifices où il entre beaucoup de métal, pour ceux qui sont placés sur un vaste sol bon conducteur, enfin pour les bâtiments de mer, parce que ce sont là, comme nous l'avons dit, les conditions qui donnent, pour un même nuage orageux, les flux électriques les plus considérables.

Troisième règle. — Une troisième règle, à laquelle nous attachons aussi de l'importance, est de ne pas amincir, utant qu'on le fait en général, le sommet de la tige du

paratonnerre. A notre avis, l'extrémité supérieure du fer ne doit pas avoir moins de 3 centimètres carrés de section, par conséquent 2 centimètres de diamètre : on y fera à la lime et dans l'axe un cylindre ayant 1 centimètre de diamètre et 1 centimètre de hauteur, qui sera ensuite taraudé; sur cette vis saillante on adaptera un cône de platine de 2 centimètres de diamètre à la base et d'une hauteur double, c'est-à-dire de 4 centimètres; l'angle d'ouverture à la pointe aiguë étant ainsi de 28 à 30°; ce cône de platine, d'abord plein, sera creusé et taraudé pour faire écrou sur la vis, ensuite il sera soigneusement soudé au fer, à la soudure forte, pour composer avec lui un tout continu et sans vides.

Indiquons les raisons de ce changement.

Quelque grand que soit un nuage orageux, quelque considérable que puisse être son intensité électrique, il est certain que, s'il était assez loin du paratonnerre et que s'il s'en approchait assez lentement, il n'y aurait aucune explosion de la foudre : le paratonnerre exercerait d'une manière efficace son *action préventive;* sans neutraliser complétement la puissance électrique du nuage, il la réduirait dans une énorme proportion; et, dans ce cas, il ne protégerait pas seulement un cercle restreint autour de lui, il aurait, de plus, protégé par anticipation, dans une certaine mesure, tous les objets au-dessus desquels ce nuage doit passer dans sa course ultérieure. C'est pour augmenter encore cette action préventive si remarquable que nous donnons au paratonnerre, dans toute sa longueur, cette continuité métallique absolue qui la favorise à un haut degré. La pointe aiguë d'un angle de 30 degrés, que nous substituons à la pointe aiguë et beaucoup plus effilée dont on se sert généralement, n'empêche pas cette action, bien qu'elle soit moins propre à la favoriser quand les distances sont petites et les intensités faibles; mais elle a une incon-

testable supériorité par la résistance incomparablement plus grande qu'elle oppose à la fusion, résistance que nous jugeons nécessaire.

En effet, il faut bien se poser cette question : un bon paratonnerre peut-il être foudroyé, à la manière d'un mauvais paratonnerre, à la manière des autres objets terrestres, c'est-à-dire par un éclair, par une explosion soudaine? Or, à cette question nous ne trouvons, dans les faits jusqu'à présent connus, rien qui nous autorise à faire une réponse négative absolue; nous dirons seulement que ce phénomène, s'il se produit, ne peut se produire que sous la condition qu'une force électrique considérable se développe subitement dans le voisinage du paratonnerre. C'est là tout ce que nous pouvons déduire aujourd'hui des lois encore imparfaitement connues de l'électricité atmosphérique; et il n'est pas impossible que cette condition se trouve quelquefois remplie, soit par des condensations rapides analogues à celles qui donnent tout à coup des masses d'eau ou de grêle, soit enfin par d'autres causes dont notre ignorance actuelle ne nous permet pas d'apercevoir l'origine.

Ce phénomène, nous n'en doutons pas, sera très-rare et, si l'on veut, tout exceptionnel; mais il suffit qu'il ne soit pas impossible pour que nous en tirions cette conséquence pratique : qu'il est indispensable de constituer le paratonnerre, non-seulement pour qu'il ne soit pas détruit par la foudre, mais encore pour qu'il n'en puisse éprouver aucun dommage capable d'affaiblir sa puissance protectrice.

La pointe mince et effilée ne remplit pas cette condition; car il ne faut pas un coup de foudre bien vif pour qu'elle soit émoussée, ou même pour que la tige qui la porte soit ramollie à un tel point que, par son poids, elle se courbe en forme de crosse, et, s'il arrive que le coup soit violent, la pointe et une longueur plus ou moins considérable de

tige tombent en globules enflammés. Après de tels accidents, si le conducteur lui-même n'a reçu aucune atteinte, il est vrai que le paratonnerre n'est pas précisément hors de service, mais il est certain aussi qu'il a perdu tout l'avantage que l'on avait recherché en lui donnant une pointe à angle très-aigu. Un appareil ainsi dégradé reste encore très-propre à recevoir d'autres coups de foudre et à protéger autour de lui dans un certain rayon; mais il est devenu impropre à exercer aucune action préventive, puisque le sommet de la tige n'est plus qu'une masse informe recouverte d'une couche épaisse d'oxyde.

Dans ses deux états, il représente les deux opinions extrêmes qui, à divers époques, ont été émises sur les paratonnerres : avant le coup de foudre, il représente l'opinion de ceux qui demandent exclusivement au paratonnerre une action préventive; après le coup de foudre, il représente l'opinion de ceux qui, ne comptant pour rien l'action préventive, demandent seulement que le paratonnerre puisse être foudroyé sans dommage. Nous ne prétendons pas donner satisfaction à tout le monde, mais nous avons la ferme confiance qu'il est possible de constituer un paratonnerre qui résiste parfaitement aux plus violents coups de foudre et qui possède, après comme avant, une action préventive très-efficace.

Tel est le but des trois règles pratiques que nous venons de donner.

Pour le surplus, nous renvoyons à l'instruction de 1823, car il n'est venu à notre connaissance aucun fait qui conduise à modifier les règles générales qu'elle propose.

1° Pour la section des conducteurs, qu'elle fixe à $2^{cm},25$ (2 centimètres carrés et 1/4), c'est-à-dire à 15 millimètres de côté pour le fer carré et 17 millimètres de diamètre pour le fer rond;

2° Pour la manière d'établir les conducteurs sur les couvertures des divers édifices;

3° Pour la manière de les mettre en communication avec le réservoir commun.

Après avoir examiné tout ce qui appartient à la construction et à la pose du paratonnerre, le sujet qui nous occupe n'est pas épuisé; il reste encore une question importante et difficile à résoudre : c'est la question de savoir à quel point il faut multiplier les paratonnerres, ou, en d'autres termes, quel est le *cercle de protection* qu'il est permis d'attribuer à un paratonnerre bien établi.

Quelques anciennes observations paraissent avoir constaté des coups de foudre sur des parties de bâtiments qui se trouvaient à une distance de la tige égale à trois ou quatre fois sa hauteur au-dessus de leur niveau. En conséquence, à la fin du siècle dernier, c'était une opinion généralement reçue, que le cercle de protection du paratonnerre n'avait pour rayon que deux fois la hauteur de la tige. L'instruction de 1823, ayant trouvé cette pratique établie, a cru devoir l'adopter; cependant elle y apporte quelques restrictions : par exemple, en ce qui regarde les paratonnerres des clochers, elle admet, s'il s'élève à 30 mètres au-dessus du comble des églises, que, pour ces combles, le rayon du cercle de protection se réduit à 30 mètres, au lieu de 60.

Il importe de rappeler que ces règles, bien qu'elles soient appliquées depuis longtemps, reposent sur des bases où il entre beaucoup d'arbitraire; et, si nous faisons cette remarque, ce n'est pas pour les condamner, mais seulement pour empêcher qu'on ne leur attribue une valeur qu'elles sont loin d'avoir. Ne suffirait-il pas, en effet, que, d'époque en époque, elles fussent ainsi admises traditionnellement et de confiance, pour que l'on se crût dispensé de les soumettre à quelque contrôle, pour que l'on négligeât de

faire, sur ce point, des observations qui pourraient se présenter et qui fourniraient à la science des documents qui lui manquent presque complétement?

Ce n'est qu'avec des réserves, et faute de données assez nombreuses et assez certaines, que nous admettons ces règles reçues sur la grandeur du cercle qu'un paratonnerre protége autour de lui. Nous ajouterons de plus, pour ceux qui pourront observer des faits qui s'y rapportent, qu'elles ne peuvent pas être générales et absolues; qu'elles dépendent d'une foule de circonstances, et particulièrement des matériaux qui entrent dans les constructions. Nous croyons, par exemple, que le rayon du cercle de protection ne peut pas être aussi grand pour un édifice dont les couvertures ou les combles sont en métal, que pour un édifice qui n'aurait, dans ses parties supérieures, que du bois, de la tuile ou de l'ardoise. En effet, dans ce dernier cas, la portion active du nuage orageux, quoique notamment plus éloignée du paratonnerre que de la couverture, exerce cependant sur le paratonnerre une action plus vive; tandis que, dans le premier cas, ces deux actions doivent être à peu près égales pour une distance égale.

En terminant ici le développement de ces principes généraux, nous profiterons de l'occasion qui nous est offerte pour appeler de nouveau l'attention sur tout ce qui se rattache aux effets de la foudre et sur la nécessité de les bien observer. Chaque fois que le tonnerre tombe, près ou loin des paratonnerres, près ou loin des habitations, dans les plaines ou sur les montagnes, il est presque certain qu'il y a des observations importantes à faire sur les phénomènes qui se manifestent. On connaît, il est vrai, un grand nombre, malheureusement un trop grand nombre, d'exemples de personnes tuées ou de maisons incendiées; on connaît aussi des exemples très-divers de métaux fondus, de charpentes brisées, de pierres ou même de mu-

railles transportées au loin, enfin beaucoup d'autres effets analogues; mais ce qui manque, en général, ce sont des mesures précises relatives aux distances, aux dimensions, aux positions des objets, soit des objets atteints, soit de ceux qui ne le sont pas : car il faut connaître aussi bien ce que le tonnerre épargne que ce qu'il frappe. C'est à tous les observateurs, et particulièrement aux officiers de la marine, de l'artillerie et du génie, aux professeurs, aux ingénieurs, aux architectes, qu'il appartient de bien constater ces phénomènes au moment même où ils se produisent, et de les bien décrire, au profit de la science comme au profit de l'économie publique. De telles descriptions, quand elles se rapportent à un coup de foudre, doivent, autant que possible, indiquer les traces de la foudre à son point le plus haut et à son point le plus bas; ensuite, par des sections horizontales bien répétées et assez multipliées, faire connaître les positions relatives de tous les objets dans un cercle assez étendu autour de ceux qui portent la marque de son passage.

L'Académie des sciences recevra toujours des travaux de cette espèce avec un véritable intérêt.

Note spéciale pour les bâtiments de mer. — Le cuivre rouge a une grande supériorité sur le fer et le laiton dont on fait usage trop souvent pour composer le câble qui forme le conducteur du paratonnerre; il est moins altérable sous l'influence des agents atmosphériques, et surtout il peut être employé avec une section trois fois plus petite. Nous conseillons donc exclusivement les câbles de cuivre rouge; ils devront avoir un centimètre carré de section métallique : ainsi leur poids sera d'environ 900 grammes par mètre courant, ou 90 kilogrammes les 100 mètres; les fils auront de 1 millimètre à $2^{mm},5$ de diamètre : ils pourront être cordés à trois torons, comme à l'ordinaire.

Le paratonnerre peut n'avoir que quelques décimètres

de longueur, y compris sa pointe, composée comme nous l'avons dit. Sa jonction avec le câble sera faite dans l'atelier, à la soudure à l'étain; pour cela, on pourra, par exemple, ménager dans la tige un trou convenable, y passer le câble et ramener le bout de 3 à 4 décimètres de longueur, pour le corder et l'arrêter avec le reste; ensuite le trou sera rempli d'une soudure qui imprègne tous les fils, et qui forme, aux points d'entrée et de sortie du câble, une sorte de large hémisphère.

Avec cette disposition, la tige du paratonnerre ne peut plus se visser elle-même au sommet de la flèche qui le reçoit; il faudra donc lui donner une forme qui permette de la boulonner solidement avec son support.

A son extrémité inférieure, le câble sera ajusté d'une manière analogue dans une pièce de cuivre de forme convenable, et il faudra nécessairement que cette pièce soit mise elle-même en permanente communication avec le doublage du navire.

La précaution dont on use quelquefois d'isoler la chaîne du porte-hauban est inutile, et l'habitude de jeter la chaîne à la mer au moment de l'orage est dangereuse : 1° en ce qu'il est possible que l'on oublie de le faire; 2° en ce que souvent il ne suffit pas que la chaîne communique à l'eau de la mer par 2 à 3 décimètres carrés de surface.

Note spéciale pour le palais de l'exposition. — Les constructions du palais de l'exposition couvrent un rectangle de 100 mètres de largeur sur 250 mètres de longueur, sans compter les pavillons qui se trouvent en dehors et sur les quatre faces. La galerie centrale a 25 mètres de largeur, et la galerie rectangulaire qui lui est contiguë et qui l'enveloppe toutes parts, seulement 28 mètres. Les fermes de cette grande charpente de fer sont à 8 mètres l'une de l'autre; elles sont reliées entre elles par des pannes en forme de cornières, par des moises et des entretoises, et

ce vaste ensemble est supporté par plusieurs centaines de colonnes de fonte, indépendamment du mur extérieur.

Le système de construction ne permet pas que les paratonnerres aient plus de 6 à 7 mètres de hauteur, et qu'ils soient posés ailleurs que sur les sommets des fermes. En conséquence, on les établira de trois en trois fermes, c'est-à-dire à 24 mètres l'un de l'autre. Ainsi la galerie rectangulaire aura trente paratonnerres, la galerie centrale neuf ou dix; quant aux pavillons, ils en recevront plus ou moins, suivant leur étendue et leur position.

Un grand conducteur commun sera établi dans toute la longueur du chéneau qui fait le tour de la galerie centrale, ayant ainsi 500 mètres de développement; il sera formé avec du fer portant 8 ou 9 centimètres carrés de section, et métalliquement continu. Chaque paratonnerre sera muni d'un conducteur particulier qui viendra se souder au conducteur commun. Enfin le conducteur commun lui-même sera mis en communication avec le sol au moyen de quatre puits au moins, qui seront creusés vers les quatre angles du rectangle ou vers les milieux des côtés, et qui devront être assez profonds pour avoir toujours 1 mètre d'eau. Il importe que ces puits soient éloignés les uns des autres; il importe pareillement que les conducteurs qui viennent y perdre la foudre se trouvent en contact avec le liquide par de grandes surfaces, soit qu'on les ramifie de diverses manières, soit que l'on y soude des feuilles larges et épaisses de tôle étamée, de zinc ou de cuivre.

Les paratonnerres des pavillons seront de même reliés au conducteur commun, ou au plus voisin de ses embranchements qui se dirigent vers les puits.

On doit remarquer qu'il se trouve environ 40 mètres de distance entre les pieds des paratonnerres correspondants de la galerie centrale et de la galerie rectangulaire, tandis que, d'après les règles reçues par rapport au cercle de

protection, les paratonnerres de 7 mètres ne comporteraient qu'une distance de 28 mètres. Mais ces conditions sont imposées par la nature de la construction, qui ne permet, comme nous l'avons dit, de placer des paratonnerres qu'au sommet des fermes; au reste, il nous paraît que cet excès de distance ne peut pas avoir grand péril, puisqu'à partir du pied des paratonnerres la couverture, ayant la forme d'un cylindre horizontal à base circulaire, va en s'abaissant rapidement.

Observations présentées par M. le baron CHARLES DUPIN, *au sujet du rapport de la section de physique de l'Académie des Sciences, sur l'établissement des* PARATONNERRES *à bord des vaisseaux.* — M. le baron Charles Dupin croit devoir indiquer les beaux travaux de sir William Snow Harris, membre éminent de la *Société royale de Londres.* Son système de paratonnerre est officiellement adopté par toute la marine militaire britannique. L'amirauté d'Angleterre, justement satisfaite de ce système, après en avoir vérifié la bonté par voies d'expériences, a récompensé magnifiquement l'auteur.

A l'exposition universelle de 1851, le VIIIe jury, celui des arts maritimes et militaires, présidé par M. le baron Charles Dupin, a proposé la récompense de premier ordre, et le conseil des présidents l'a votée pour sir William Snow Harris.

La section de physique de l'Académie rend elle-même hommage au système de sir William Snow Harris, en proposant des dispositions qui se rapprochent beaucoup des siennes: on en jugera par l'extrait suivant du rapport fait par M. le baron Charles Dupin au nom du VIIIe jury, en 1851, rapport que l'auteur met à la disposition de la section de physique.

« Une source de salut capitale pour les navires est l'ap-
« plication la plus efficace des conducteurs métalliques

« destinés à les garantir contre le tonnerre. Franklin a fait « la découverte immortelle du caractère identique de l'élec- « tricité que l'homme produit artificiellement, et de celle « qui jaillit du ciel sous la forme des éclairs et de la foudre. « Par le moyen du paratonnerre à conducteurs métalliques « qu'il a proposé, on a pu conserver contre les accidents « des orages les édifices de terre et de mer. Cependant les « circonstances si variables et si compliquées dans lesquelles « les navires se trouvent forcément placés rendent l'usage « de ces conducteurs très-difficile et presque impossible. « Les mâtures, les seules pièces le long desquelles on puisse « les appliquer, sont composées d'un grand nombre de « parties très-distinctes, qu'il faut souvent mouvoir les unes « contre les autres et parfois retirer, *amener*, tout à fait; « les mâts peuvent encore être endommagés par le vent et « par d'autres causes perturbatrices. La protection des « navires contre l'électricité du ciel avait été confiée à une « faible chaîne ou à une corde métallique temporairement « appliquée le long des haubans. Par la force des choses un « tel conducteur ne pouvait pas offrir la sécurité complète « qui doit résulter d'un conducteur plus puissant, inamo- « viblement fixé le long des mâts.

« Sir William Snow Harris a conçu l'idée de rendre « de forts conducteurs métalliques partie intégrante des « mâts et de la coque du bâtiment. Il établit ainsi le « navire entier dans un état de parfaite conductibilité, eu « égard à la matière de l'électricité céleste, comme « si toute la masse était métallique. Il remplit cet objet « en incorporant avec les mâts et la cale une série de « plaques en *cuivre* disposées de manière qu'elles se prêtent « à toutes les positions variables de la mâture; elles sont « tellement unies entre elles, qu'une décharge électrique « frappant le navire, n'importe en quel endroit, ne puisse « pas entrer dans un circuit, quel qu'il soit, dont les conduc-

« teurs ne formeraient point partie. Par ce moyen, le « navire est préservé de l'effet destructeur résultant de « l'électricité céleste, dans toutes les circonstances et par « tous les temps, *sans que les officiers ni l'équipage s'en « mêlent en aucune manière.* En définitive, sir William « Harris a démontré que, en quelque position que les « mâts calés soient placés, une ou plusieurs lignes de ses « conducteurs passent à travers le navire pour se rendre « à la mer; elles présentent moins de résistance au passage « de la décharge électrique qu'aucune autre disposition « qu'on pourrait imaginer.

« Sir Baudoin Walker, inspecteur général de la marine « britannique et l'un de nos honorables collègues, a lui-« même éprouvé les précieux avantages du système que « nous venons de décrire. Ce fut à bord d'une frégate qu'il « commandait, dont le grand mât et le mât de misaine « furent frappés par de très-vives décharges de la foudre, « sur la côte du Mexique. Dans cette occurrence, la force « de la décharge était si puissante, qu'elle a fondu presque « en entier la partie métallique sur laquelle l'éclair vint « frapper, et qu'elle a laissé des marques de fusion sur la « surface des plaques conductrices; mais grâce aux conduc-« teurs de sir William Snow Harris, sans que le moindre « dommage fût fait aux mâts non plus qu'à la coque, et cela « lorsque les mâts de cacatois étaient amenés.

« Nous avons décerné notre récompense la plus élevée à « ce système, que nous considérons comme le meilleur « qu'on ait encore imaginé contre les effets de la foudre. »

ÉLECTRO-SUBTRACTEURS

Tout le monde connaît l'ingénieuse théorie de Volta sur la grêle, et le petit appareil au moyen duquel cet illustre savant croyait démontrer ce phénomène; mais ce que l'on

sait moins, c'est que, d'après des recherches nouvelles faites par les plus habiles météorologistes modernes, la grêle ne se forme pas dans les circonstances qu'avait supposées Volta. Il paraît même que l'action électrique n'est pas une cause déterminante de sa formation, mais seulement une suite ou plutôt un accompagnement de sa création. Quoi qu'il en soit, tous les savants ne sont pas encore convaincus, et la théorie positive de ce phénomène si curieux et en même temps si terrible est loin d'être établie d'une manière incontestable.

M. Dupuis-Delcourt, l'habile aéronaute, est de ceux qui croient que l'électricité joue le plus grand rôle dans la formation de la grêle, et, en conséquence, il a pensé que si l'on trouvait moyen de soutirer incessamment l'électricité de l'atmosphère, on préviendrait la naissance et par suite les ravages de ce fléau destructeur; mais pour cela il faut, dit-il, atteindre constamment à des hauteurs de 1500 à 2000 mètres en l'air et même quelquefois plus, enfin il faudrait habiter la région où se forment les nuages.

Dans ce but il propose un instrument auquel il a donné le nom d'*électro-subtracteur*, et qui selon lui réunit toutes les conditions voulues pour soutirer l'électricité atmosphérique d'une manière constante et efficace dans le cas en question. Quoique n'étant pas de l'opinion de ceux qui croient à la théorie de Volta, et par conséquent n'étant pas convaincu de l'efficacité du moyen proposé par M. Delcourt, j'ai pensé que les considérations curieuses qui accompagnent la description de cet instrument seraient fort intéressantes à connaître même de ceux qui ne partagent pas son opinion; en conséquence, j'ai cru devoir reproduire ici une partie de l'article publié dans l'*Illustration* du 8 juin 1850, sur cet instrument.

Électro-subtracteur de M. Dupuis-Delcourt. — Cet électro-subtracteur consiste principalement dans un cylindre

étroit et long, garni de pointes métalliques et terminé par deux formes coniques. Rempli de gaz hydrogène, il s'élève dans l'air à mille ou quinze cents mètres de hauteur, quelquefois plus; il est retenu captif par une ou plusieurs cordes semi-métalliques, établissant, à la façon des paratonnerres, la communication libre et non interrompue du fluide électrique entre l'atmosphère et la terre. Toute autre forme que celle du cylindre terminé par les cônes pourrait être employée : celle-ci cependant offre l'avantage de permettre à la machine tous les mouvements que pourraient lui imprimer les vents et l'état de l'atmosphère. L'instrument est réuni aux cordes par un système de suspension libre et articulée, et, grâce à ce système, il pivote librement sur son axe, comme le fait une girouette. Ainsi que le cerf-volant de l'enfant, par le fait de son inclinaison calculée, il résiste et tend à s'élever sous l'effort du vent.—Les cordes de soutènement sont passées en double dans des anneaux fixés à la quille et aux autres parties solides de la machine, de manière à se régler d'elles-mêmes. La quille est une tringle en bois fort et léger de 5 à 7 centimètres de largeur, régnant à la base du cylindre sur toute sa longueur et servant à relier entre eux les cercles également en bois qui le revêtent et le divisent extérieurement. L'instrument peut être construit en métal, fer étamé ou galvanisé, en cuivre ou en carton continu, ou bien en toile, en soie ou toute autre étoffe flexible, caoutchoutée ou vernie. L'emploi de ces différentes enveloppes dépend des dimensions de l'instrument et de l'application qui doit en être faite.

L'articulation qui relie l'électro-subtracteur aux cordes de retenue, établissant la communication entre l'atmosphère et le sol, est une pièce analogue à celle qui termine le porte-mousqueton. Elle se compose de deux anneaux de forme différente adhérant entre eux par une queue rigidement fixée à l'anneau supérieur et rattachée à l'anneau

inférieur par un boulon et une clavette qui lui laisse la liberté de se mouvoir en tous sens.

Voici donc le ballon construit; il est lancé et va occuper dans l'atmosphère la place que la science lui a assigné : mais la température veut varier, les vents peuvent souffler violemment et enlever l'instrument dans une région supérieure; comment résistera-t-il? Comment surtout restera-t-il en communication avec la terre, et comment pourra-t-on s'opposer à ce qu'il s'élève de telle sorte que l'air se raréfiant, le gaz contenu dans l'enveloppe cédant à sa force d'expansion, ne fasse pas explosion? Nous avons dit qu'il était muni de cordes destinées à le mettre en communication avec le sol. Ces cordes sont terminées par une série de chaînons d'un poids considérable que M. Dupuis-Delcourt nomme *lest mobile*. Ces chaînons reposent dans les puits destinés à condenser et à retenir, pour en régler l'écoulement, le fluide soustrait à l'atmosphère. Ce lest mobile se soulève ou s'abaisse par la dilatation ou la condensation de l'hydrogène contenu dans la machine, ou par l'effet momentané du vent sur sa surface, et ramène invariablement à sa place l'électro-subtracteur. — Dans les machines de petites dimensions, un ressort à boudin, d'une force proportionnée à celle de l'instrument, remplace ce lest mobile. — L'électro subtracteur enfin est muni d'une soupape de sûreté fonctionnant d'elle-même et s'ouvrant du dedans au dehors sous la pression d'un ressort. Cette soupape, analogue à celles qu'on voit sur les générateurs des machines à vapeur, est destinée à empêcher la rupture de l'enveloppe dans le cas d'une dilatation subite et imprévue du gaz qu'elle contient.

Si l'on a bien saisi la description de la machine de M. Dupuis-Delcourt, on comprendra qu'elle doit agir tout à la fois comme un paratonnerre et comme un cerf-volant électrique ! si donc on peut s'élever à 1,500 mètres, comme

le paratonnerre préserve de la foudre les objets qui se trouvent à une distance égale à deux fois sa hauteur, le terrain préservé serait compris dans un cercle dont le diamètre serait de 6,000 mètres. Il suffirait donc d'un nombre limité de ballons convenablement espacés pour garantir du fléau toute une contrée. Notre conviction est qu'il y a là une expérience d'une haute portée à tenter.

Mais ici se présente la question de dépense, et c'est la grosse question : car dès que l'on veut sortir des expériences de laboratoire ou de cabinet de physique, la dépense nécessaire s'accroît dans une proportion qui la rend trop souvent inaccessible à la plupart des expérimentateurs. Cependant, pour le cas qui nous occupe, la question est assez grave pour justifier un sacrifice pécuniaire de tous ceux qui ont à cœur l'amélioration des conditions générales d'existence de la France. La grêle, nous l'avons dit, est un fléau destructeur, et certaines contrées semblent vouées périodiquement à ses ravages ; mais ce que peu de personnes savent, c'est le chiffre des pertes annuelles dues à la grêle. Ce dommage s'élève annuellement en France, en moyenne, de 30 à 40 millions de francs. En 1845, dix compagnies d'assurance contre la grêle ont couvert 192 millions de valeurs, et le chiffre des sinistres éprouvés par les assurés s'est élevé à 1,837,960 fr. : c'est donc à peine le vingtième des dégâts causés par la grêle.

Dans cet état de choses, M. Dupuis-Delcourt s'est adressé au gouvernement et lui a proposé l'application de son électro-subtracteur. Il pose en fait qu'un seul de ses instruments peut préserver 100,000 hectares de terrain ; il est facile de voir combien il en faudrait pour toute la France, dont la superficie est de 52 millions d'hectares. Il n'en faudrait que 520. Chaque instrument ayant des dimensions convenables coûte environ 30,000 fr. Ce serait donc une somme totale de 15,600,000 fr. à dépenser. Ne pourrait-on

imaginer une assurance omnibus qui couvrît la surface entière de la France, et dont le chiffre, minime pour chacun, permettrait de faire cette construction? En imposant chaque hectare à 30 centimes, on arrive exactement à ce chiffre : mais cette somme ne serait nécessaire qu'une seule fois; l'absence de sinistres permettrait de la réduire beaucoup et de ne prélever que ce qui serait indispensable pour le renouvellement des instruments.

Électro-subtracteurs utilisés à l'agriculture. — Les curieuses expériences faites dès 1746 par M. Maimbury, d'Édimbourg, et répétées depuis par MM. Jallabert, Bose et l'abbé Menon, sur les effets de l'électricité par rapport à la végétation, expériences qui ont prouvé de la manière la plus claire l'activité merveilleuse que cet élément si extraordinaire donne aux végétaux, ont fait penser à appliquer en grand l'électricité à l'agriculture, et on a cherché pour cela à la soutirer de l'atmosphère, par l'intermédiaire de paratonnerres nombreux implantés à l'extrémité de longues perches en différents points des champs cultivés. Plusieurs expériences ont été faites en Angleterre et ont été couronnées de succès; mais celles qu'on a faites en France, à la ferme de Grignon, sont demeurées sans résultat. Quoi qu'il en soit, le principe étant vrai en lui-même, on peut en conclure que si les expériences tentées n'ont pas toujours réussi, c'est que l'on ne s'était pas placé dans des conditions convenables. Il ne faudrait donc pas se décourager dès le début sur une application dont les résultats seraient immenses puisqu'il y aurait à la fois accélération dans la poussée des plantes, accroissement dans leur volume et supériorité dans leur qualité. M. Dupuis-Delcourt prétend qu'avec ses électro-subtracteurs le fluide électrique se trouverait emmagasiné en si grande quantité à l'extrémité des chaînes de retient des appareils, qu'il pourrait servir d'engrais et d'amendement pour la petite et la grande culture.

LIVRE V

APPLICATIONS PHYSIOLOGIQUES

DE L'ÉLECTRICITÉ

APPLICATIONS A LA MÉDECINE.

Les réactions physiologiques du fluide électrique et particulièrement les commotions auxquelles il donne lieu lorsqu'il se trouve développé en quantité suffisante, furent un des premiers effets observés et exploités de cet étrange élément. On trouve en effet que dès 1746, un certain physicien appelé Gralath donna un choc à vingt personnes à la fois et à une grande grande distance de la machine; quelque temps après, Mallet, en France, tua des poissons et des oiseaux par des décharges de la bouteille de Leyde. Enfin l'abbé Nollet donna, en présence du roi Louis XVI, un choc à cent quatre-vingts gardes, et au couvent de Cartésiens, à Paris, l'assemblée entière formant une ligne de 1,005 mètres de long, unie par des conducteurs, tressaillit en même temps à la décharge de la bouteille.

Ces effets si extraordinaires, qui semblent démontrer une certaine liaison entre le fluide électrique et le système nerveux des êtres animés, durent, dès l'origine, être étudiés au point de vue médical; et, bien qu'alors les instruments dont on était en possession fussent d'un usage diffi-

cile, d'un effet fort capricieux, une foule d'expériences furent tentées et beaucoup de guérisons purent consacrer l'efficacité de ce genre de médication. C'est ainsi que, dès l'année 1748, le docteur Jallabert, de Genève, put reconnaître que l'électrisation avait pour effet médical : 1° d'activer la circulation du sang et d'élever, par cela même, la chaleur du corps; 2° d'accélérer le retour périodique des femmes; 3° de réveiller la sensation assoupie ou de provoquer dans les muscles une contraction susceptible de rappeler au mouvement un organe paralysé; 4° enfin de faciliter par l'activité qu'elle donne à la circulation du sang et la transpiration, la résolution des engorgements sanguins et glandulaires. Malgré les nombreux cas de réussite que ce médecin obtint, la médication électrique tomba quelque temps après en discrédit, et il fallut tous les succès de l'abbé Sans pour la remettre en honneur, et démontrer que les cas d'insuccès qu'on avait signalés devaient plutôt être attribués à une mauvaise application des effets électriques, qu'à la médication en elle-même[1]. D'autres essais tentés par MM. Bertholon, Mazars de Cazèles, Sigaud de Le Fond, Sauvage de Haën, de Lindulf et autres prouvèrent que l'électrisation convenablement appliquée pouvait guérir des sciatiques, des douleurs chroniques, des crampes, des rhumatismes articulaires et goutteux, des tumeurs lymphatiques, des engorgements scrofuleux, des hémiplégies, des luxations, des hydarthroses, des amauroses, des oph-

1. L'abbé Sans fit, au couvent des Augustines de Perpignan, une si belle cure sur une des religieuses de cette communauté, qu'après une délibération très en règle qu'on a conservée, celles-ci lui firent des remerciments au nom du *Chapitre*, et lui remirent une attestation relatant que quatre-vingt-une heures une minute 1/2 d'électricité distribuée en soixante-deux jours, ont produit 46 *marcs*, 5 *onces*, 7 *gros* 1/4 *de force, et une entière guérison de la paralysie* de Mme d'Esprer, religieuse chanoinesse de l'ordre de St-Augustin de Perpignan. (C'était en 1768.)

thalmies, des fistules lacrymales, des engelures, des glaucônes, des fièvres tierces et quartes, des ankiloses, des gales suppurantes, la dysménorrhée, les courbatures, les convulsions, vapeurs, enfin différents cas de surdité et de cécité.

A cette époque on n'employait que trois instruments en dehors de la machine électrique et de son conducteur. C'étaient une bouteille de Leyde avec l'électromètre de Lanes, une jarre, un fauteuil ou un tabouret isolé sur des pieds de verre et des directeurs ou excitateurs en bois ou en métal. Mais on pouvait électriser de six manières : 1° par *souffle;* 2° par aigrettes; 3° par étincelles; 4° par commotions; 5° par frictions; 6° par bain. De ces différents modes d'électrisation, M. Sigaud de Le Fond en recommandait trois : 1° le bain électrique pour accélérer la circulation des fluides; 2° les étincelles pour donner de l'action à certains muscles relâchés; 3° la commotion pour agir dans le même cas que les étincelles, lorsque celles-ci ne suffisaient pas. Du reste, il attribuait à chacune des deux électricités une vertu différente. Suivant lui l'électricité négative serait favorable dans une foule de maladies nerveuses, qui ont pour cause une surabondance du fluide électrique, elle ralentirait les pulsations dans un rapport de 2 à 80, tandis que l'électricité positive les accélérait dans un rapport de 6 à 80. Enfin l'électrisation, toujours d'après le même auteur, disposerait à la sueur, augmenterait la salive, donnerait des urines troubles et provoquerait des diarrhées.

Convaincu que l'état de santé chez l'homme et chez les animaux était le résultat d'un équilibre bien établi entre les deux électricités dégagées en eux par l'action vitale, M. l'abbé Bertholon proposa, en 1780, un genre de médication qui consistait à ingérer celle des deux électricités qui était en moins chez les malades et dont l'absence, sui-

vant lui, était l'unique cause des maladies. Pour apprécier la nature de cette électricité manquante ou excédante, il consultait les causes extérieures qui avaient pu influer sur le malade, la nature du climat, le pays, l'état électrique de l'atmosphère, puis il étudiait les prédispositions et le caractère du malade lui-même, car, disait-il, toutes ces causes extérieures qui agissent, comme tout le monde le sait, sur notre moral, réagissent également sur notre physique et tendent, suivant la disposition des individus, à rompre l'état d'équilibre électrique qui constitue leur état normal ou de santé. Il appliquait alors suivant que la rupture de cet équilibre s'était effectuée dans un sens ou dans l'autre, le traitement par l'électricité résineuse ou par l'électricité vitrée.

Suivant l'abbé Bertholon les maladies qui peuvent provenir de cette rupture d'équilibre dans l'état électrique du corps humain seraient : 1° les affections de la superficie; 2° les fièvres; 3° les inflammations; 4° les spasmes ou les convulsions; 5° les disponoïques ou essoufflements; 6° les faiblesses ou paralysies; 7° les douleurs; 8° les folies; 9° les flux; 10° les cachexies. La première catégorie de ces maladies exigeant une espèce d'évaporation des parties liquides des organes, devrait être traitée par l'électricité positive. Dans la seconde, où deux effets diamétralement opposés sont produits, on pourrait employer alternativement les deux électricités, l'électricité vitrée ou positive dans la période du froid et l'électricité négative dans la période chaude. La troisième catégorie résultant de la présence d'une trop grande quantité d'électricité positive, comme l'atteste le mouvement du sang dans les parties enflammées, exigerait une électrisation négative. Il en serait de même de la quatrième catégorie, mais il faudrait employer alors l'électrisation la plus douce, celle par le souffle ou par les aigrettes. La cinquième catégorie réclamerait l'électricité

positive ainsi que la sixième. La septième catégorie pouvant provenir tantôt d'une grande quantité d'électricité, tantôt d'une trop faible, devrait être traitée tantôt par l'électricité positive, tantôt par l'électricité négative. La huitième exigerait la commotion négative. Enfin les deux dernières catégories auraient une électrisation variée suivant les circonstances.

Comme on le voit, l'abbé Bertholon avait bâti, non-seulement tout un système médical, mais encore une théorie électro-physiologique qui était loin d'être démontrée. Pourtant de nos jours un médecin italien d'une certaine réputation, M. Poggioli a émis les mêmes idées théoriques. Que doit-on croire? et n'est-ce pas le cas de dire comme l'abbé de Lateignan :

Que l'homme est grand! qu'il est petit!
Qu'il est borné! qu'il a d'esprit!
Prodigieux problème?
Des astres il connaît le cours,
Celui des saisons et des jours,
Et s'ignore lui-même!

L'une des principales causes qui firent abandonner le traitement par l'électricité, à la fin du siècle dernier, fut le charlatanisme qui s'empara de cette branche de la science et alla même jusqu'à l'exploiter en place publique au grand désespoir des médecins progressistes. C'est ce que constate ce reproche du docteur Van-Troostwyski : « si l'on demande à présent, dit-il, si l'électricité a été de quelque utilité à la médecine et, par conséquent, au genre humain, il faudra convenir que le charlatanisme de quelques physiciens italiens a été plus nuisible qu'utile..... peut-être même n'eût-on plus songé à l'électricité médicale, s'il ne se fût trouvé des savants qui la relevèrent avec éclat de l'abaissement où elle se trouvait. » Fort heureusement alors Galvani et Volta firent la découverte de l'électricité dynamique et

ouvrirent ainsi un nouveau champ aux expériences médicales.

S'il faut s'en rapporter aux nombreuses expériences faites par MM. Humboldt, Aldini, Labaume, Fabré-Palaprat, Ritter, Bichoff, Majon, Rossi, Grapengiesser, Baudelocque, Bermundi, Pravaz, Le Roy d'Etiole, Andrieux, Fozembas, Matteucci, Bailly et Meyraux, Prevost et Dumas, Récamier, Tavignot, etc., la galvanisation aurait sur les êtres animés et dans son application aux maladies, des effets analogues à ceux de l'électricité et une efficacité généralement plus décisive; on pourrait par conséquent, en l'appliquant, accélérer la circulation du sang, augmenter la transpiration, opérer l'excrétion de certains fluides et l'expulsion des matières alvines, coaguler le sang, troubler la limpidité de la bile et des urines, enfin guérir ou tout au moins soulager une foule de maladies telles que : affections rhumatismales, sciatiques, goutte, asphyxies, certains genres de folies, spasmes, hernies scrotales, tumeurs inflammatoires, dyspepsie, maladies de foie, maladies des viscères abdominaux, maladies de reins, diabètes, maladies de vessie, paralysies, paraplégies, hypocondre, asthmes, atrophies, phthisie, hydrocèles, hydatides, scrofules, maladies mercurielles, varicocèles, sarcocèles, aménorrhée, dysménorrhée, déviations de l'utérus, tic douloureux, goîtres, entorses, relâchements musculaires, cécité, amaurose, surdité, invaginations intestinables, accouchements dont le travail se ralentit, hémorragies, etc., etc.

D'après les médecins que nous avons précédemment nommés, la galvanisation aurait encore des caractères particuliers qui la rendraient susceptible d'une application spéciale; par exemple, la contraction musculaire s'effectuerait toujours en sens inverse du courant, c'est-à-dire dans le sens du pôle négatif au pôle positif, d'où il résulterait qu'on pourrait, en variant le sens du courant, provoquer de la part du

tube intestinal des vomissements ou des évacuations alvines ou, en d'autres termes, déterminer le mouvement péristaltique ou antipéristaltique du tube digestif. D'un autre côté le galvanisme réagirait au suprême degré sur la rétine en produisant la sensation de l'éclair; stimulerait la moelle épinière, les filets nerveux mêmes isolés, le système ganglionaire et lymphatique; modifierait dans certaines circonstances les sensations, le goût et l'odorat surtout, enfin pourrait être employé comme emménagogue.

Suivant Labaume, il ne faudrait pas employer le galvanisme pour les maladies inflammatoires aiguës et les excitations nerveuses, mais bien comme topique dans quelques infirmités locales qui ne tiennent pas à un état constitutionnel ou à un changement organique des parties, ou comme palliatif dans le cas des lésions fonctionnelles. Ce fluide, dit le même auteur, est stimulant, dérivatif et désobstruant; il a une action puissante sur les nerfs, les muscles et le système circulatoire, il tonifie les organes chylifères et devient très-efficace dans les maladies du foie. La guérison qu'il procure est généralement durable parce qu'il est un excitant naturel. Les contractions qu'il provoque sont beaucoup plus générales que celles de l'électricité statique et s'étendent beaucoup plus loin; mais les muscles répondent plus longtemps que le cœur à cet excitant: enfin les stimulants ordinaires associés au galvanisme en augmentent beaucoup l'énergie.

Tant à cause de ses effets continus que de son action plus douce et de son administration plus facile, la galvanisation n'eut pas de peine à détrôner l'ancienne électrisation, et même à la faire complétement oublier. Pourtant, comme on l'a reconnu depuis, chacun de ces deux modes de traitement électrique a, dans certains cas, des avantages particuliers qui ne peuvent être remplacés. Aussi, maintenant les médecins considèrent-ils l'électrisation statique (par les

machines) comme pouvant être employée concurremment avec la galvanisation. Du reste, il était réservé au galvanisme d'être détrôné à son tour par l'électrisation d'induction, de sorte qu'en ce moment le traitement électro-médical se compose de trois genres d'électrisation : *électrisation statique, galvanisation, électrisation par induction.* Ce dernier tient le milieu entre les deux autres, c'est-à-dire que ses effets, par rapport à la commotion, sont plus énergiques que ceux de la pile et ont l'avantage d'être continus, ce que n'ont pas ceux de l'électricité statique.

Un des caractères principaux de l'électricité d'induction est d'agir avec énergie sur la contraction musculaire, sans avoir une action aussi forte sur la rétine que le galvanisme. C'est donc le mode d'électrisation le plus convenable pour les maladies nerveuses de la face. Quoique son action calorifique ne soit pas aussi puissante que celle de la pile, ce fluide fait éprouver quelquefois une sensation de brûlure, surtout quand il est mis en action par l'intermédiaire d'un excitateur pointu et qu'on provoque son effet stimulant sur le rachis. Dans ce dernier cas, cette sensation de brûlure est insupportable. Dirigée sur la masse cérébrale, l'électricité d'induction y produit : céphalalgie, défaillances, douleurs lancinantes, troubles de l'intelligence et des sens. Des bourdonnements d'oreille et une surdité momentanée sont les conséquences de son application aux oreilles. La sensation tactile est tantôt exagérée, tantôt abolie. Enfin, son application sur la langue fait éprouver une sensation salée, tandis qu'avec la pile, cette sensation est acide.

Il n'est pas indifférent de faire les électrisations d'une manière ou d'une autre, c'est-à-dire de placer les excitateurs en tel ou tel point. Ainsi, il existe trois procédés d'électrisation qui ont chacun un effet différent : 1° l'électrisation musculaire directe, qui s'obtient en plaçant les

deux excitateurs sur deux points très-rapprochés d'un muscle ou sur les deux extrémités; 2° l'électrisation musculaire indirecte, par laquelle le fluide parcourt le trajet des nerfs principaux de la partie affectée; 3° l'électrisation musculaire mixte, qui consiste à appliquer un excitateur sur un tronc nerveux principal, tandis que l'autre passe successivement sur chacun des points des muscles auxquels ce nerf distribue des rameaux. On peut encore électriser par simple friction (c'est ainsi qu'il est toujours bon de commencer), par courant continu, par saccades et par intermittences qui peuvent être plus ou moins rapprochées et plus ou moins longues. En général, il faut que le courant traverse dans son trajet la partie malade.

Par un mode d'électrisation particulier, M. Duchenne est parvenu à limiter à volonté l'effet électrique, soit à la peau, soit dans les organes qu'elle recouvre, c'est-à-dire dans les nerfs, les muscles et les os. Ce procédé permet, dans certains cas de paralysies, d'exciter les parties malades et peu à peu de faire mouvoir les membres qui avaient perdu toute faculté de contraction.

Enfin un certain M. Rouillon prétend qu'en introduisant à l'intérieur du corps ou en appliquant sur la peau deux substances chimiques capables de se combiner, on provoque un dégagement électrique qui peut être utilisé avec avantage dans les maladies.

Les accidents qui peuvent résulter de l'électrisation mal appliquée sont de trois sortes; les plus faibles et les plus inoffensifs sont *les tremblements électriques:* ils sont caractérisés par un tremblement convulsif de la partie électrisée qui se manifeste après l'électrisation; d'autres entraînant des troubles de l'intelligence, la céphalalgie, les vertiges, la démarche chancelante, constituent *l'ivresse électrique.* D'autres, enfin, ont pour effet une véritable paralysie, éphémère à la vérité, comme les deux autres genres d'acci-

dents, quoique plus tenace; on leur a donné le nom de *paralysie électrique.*

DES DIFFÉRENTES MANIÈRES D'APPLIQUER L'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE.

Électrisation des machines. — Nous avons vu que les médecins du siècle dernier avaient six manières d'appliquer l'électrisation. De ces six manières nous en étudierons seulement cinq : le bain, les pointes, l'étincelle, la commotion, et la friction. Sans doute les moyens électriques que nous possédons aujourd'hui pourraient rendre inutile l'explication de ces anciens procédés; mais comme il n'est pas encore démontré que les effets opérés par les moyens électriques modernes doivent être employés exclusivement de préférence aux moyens anciens et que beaucoup de médecins habiles prétendent le contraire, nous étudierons successivement les différents modes d'application de l'électrisation.

Bains électriques. — Le bain électrique, la plus ancienne de toutes les méthodes, consistait à isoler le malade et à le plonger dans une atmosphère électrique. Il avait pour résultat l'accélération du pouls, l'augmentation de la transpiration et des autres sécrétions. Le bain pouvait être positif ou négatif. Dans le premier cas, il avait, disait-on, une action limitée sur la peau; dans le second, il avait, d'après Giacomi, une action hyposthénisante, en soustrayant une dose plus ou moins considérable de l'électricité naturelle du corps; ce qui n'est pas prouvé.

Électrisation par pointes. — Avec ce genre d'électrisation, le malade, d'après M. Thillaye, peut être isolé ou en communication avec le sol; les effets physiques sont les mêmes. Le malade éprouve un vent frais, agréable, applicable même aux organes les plus délicats.

Les pointes peuvent être métalliques, en bois sec ou humide, elles peuvent être aiguës ou émoussées; mais il en résulte, bien entendu, des variations dans la rapidité et l'intensité de l'action. Une des modifications de cette méthode consiste à placer le malade entre deux pointes dont une isolée apporte le fluide, tandis que la seconde le soutire pour le rendre au réservoir commun. Certains auteurs prétendent même qu'il existe une différence entre le souffle électrique dirigé par une pointe isolée et en communication avec la machine, et celui que fait éprouver une pointe en communication avec le sol, le corps étant en rapport direct avec la machine. Quoi qu'il en soit, il faut pour que ce genre d'électrisation s'effectue, que la pointe soit suffisamment éloignée pour qu'il n'y ait pas décharge ou étincelle.

Électrisation par étincelles. — On peut isoler ou non le malade. L'intensité des étincelles dépend du diamètre des excitateurs physiques qu'on présente au malade, de la rapidité de rotation de la machine et de la communication avec le sol, ce qui transforme l'étincelle en commotion. L'étincelle peut produire la contraction du muscle qui la reçoit, la rougeur de la peau et quelquefois des pustules plus ou moins nombreuses; mais le plus souvent son action est limitée à la peau. Le malade éprouve une sensation de chaleur et de cuisson au point de contact. L'étincelle négative donne une sensation plus cuisante que l'étincelle positive.

Électrisation par commotions. — Elle ne diffère de la précédente que par la quantité plus grande du fluide mis en mouvement et par la direction déterminée qu'on lui fait suivre entre deux surfaces dont l'équilibre a été rompu. La force des commotions est en rapport avec l'étendue des surfaces métalliques du condensateur que l'on emploie. Plus la bouteille de Leyde sera grande, plus, par conséquent, la commotion sera forte.

Ce genre de commotion émeut davantage et frappe plus fort que les décharges galvaniques, mais il pénètre moins que ces dernières. Il est nécessaire de graduer la commotion; Cavallo, Wilkinson et Mauduyt recommandent de ne jamais excéder le degré que le malade peut supporter sans peine.

Électrisation par frictions. — On se sert pour l'administrer de brosses métalliques mises en communication par une chaîne avec la machine et que l'on tient à l'aide d'un manche de verre.

Voici les conclusions de M. Thillaye relativement aux modes d'électrisation qu'il faut employer suivant les circonstances.

L'expérience a démontré, dit-il, qu'il y a certaines précautions à prendre dans l'administration de l'électricité : 1° Il faut voir si l'électrisation ne pourra pas influer facilement sur quelque autre maladie concomitante ou intercurrente. 2° L'on donnera d'abord l'électricité *la plus faible*, et l'on augmentera jusqu'à la dose convenable à la maladie et au tempérament du malade. 3° Il faut continuer *assez longtemps* quand même on n'aurait pas *tout d'abord* des succès bien marqués; beaucoup d'autres remèdes n'opèrent aussi qu'avec le temps. 4° L'on n'emploiera jamais un traitement vigoureux lorsqu'un plus faible pourrait suffire. 5° L'électrisation ne devra jamais empêcher l'administration d'autres remèdes agissant dans le même sens, tels que frictions, vésicatoires purgatifs et désobstruants.

Ces préceptes donnés par M. Thillaye, en 1803, sont encore ceux qu'il convient de suivre aujourd'hui dans l'administration de l'électricité, car cet agent n'est pas, comme certains médecins l'ont avancé, *inoffensif;* on pourrait citer plusieurs exemples où son application a provoqué des maladies.

M. Thillaye prétend que dans le rhumatisme il convient

d'employer le bain, la pointe, de légères étincelles et très-rarement de faibles commotions ; qu'il faut traiter les ophthalmies par la pointe aussi bien que les suppressions ; que contre les épilepsies, les mouvements convulsifs et le tétanos, il faut appliquer des commotions vigoureuses, mais toujours en rapport avec l'âge, la sensibilité de la peau, la susceptibilité et la constitution du malade ; qu'il faut donner aux hémyplégiques des bains, des étincelles et des commotions ; que pour la paralysie des sens on se trouvera bien des pointes en bois et de faibles commotions ; qu'enfin pour l'asphyxie il ne faut pas craindre d'agir vigoureusement et d'user du moyen qui donne le plus d'ébranlement de toute la machine.

GALVANISATION. — Le galvanisme, comme l'électricité des machines, peut s'administrer de plusieurs manières différentes : 1° par bains ; 2° par le simple courant ; 3° par commotions ; 4° par l'acupuncture ou galvano-puncture ; 5° par moxas ; 6° par cautérisation ; 7° par applications galvaniques, telles que cataplasmes galvaniques, tissus galvaniques, chaînes galvaniques, etc.

Galvanisation par bains. — On fait communiquer par l'intermédiaire d'une grande plaque métallique l'un des pôles d'une pile à auges d'un plus ou moins grand nombre d'éléments, suivant la force électrique que l'on veut obtenir, au liquide de la baignoire que l'on a préalablement acidulé ou salé, en ayant soin que le fil qui supporte cette plaque soit isolé du métal de la baignoire elle-même. L'autre pôle est en contact avec cette baignoire, de telle sorte que le courant galvanique passe forcément par le liquide et le corps du malade qui s'y trouve plongé. Les effets physiologiques de ce genre d'électrisation sont doux et peu marqués, ils provoquent la transpiration et le sommeil et favorisent les sécrétions. Dans le cas où l'on voudrait par ce moyen localiser l'effet électrique, on supprimerait la communication avec

la baignoire et on appliquerait sur la partie malade le pôle libre de la pile. En retirant de l'eau la plaque qui s'y trouve plongée et en la plongeant de nouveau à plusieurs reprises plus ou moins rapprochées, on obtiendrait de la part du bain certaines commotions douces qui peuvent être d'un effet avantageux.

Il y a environ deux ans, MM. A. Poëy et Vergnès se sont imaginé d'utiliser les bains galvaniques à l'extraction des corps métalliques qui peuvent se trouver accidentellement dans le corps humain. Ils composent à cet effet le bain galvanique comme un bain pour la galvanoplastie, en ayant soin de mettre le corps de la personne sur laquelle on expérimente en rapport avec le pôle positif de la pile et de placer en face d'elle à petite distance une plaque métallique communiquant à l'autre pôle. De cette manière le corps du malade constitue l'électrode soluble du bain galvanoplastique, et si quelques parties métalliques se trouvent introduites à l'intérieur des chairs et même à l'intérieur du corps, elles se trouvent dissoutes et filtrent à travers les tissus pour venir se déposer sur la plaque immergée dans le bain. Ce système de bain peut être appliqué aux personnes qui ont fait usage de mercure, ou à celles qui, par leurs travaux, sont exposées à en absorber une certaine quantité, soit par les pores de la peau, soit par la respiration. Pour certaines blessures dans lesquelles sont restés des morceaux de métal dont on n'a pu opérer l'extraction, ces sortes de bains répétés fréquemment et durant un certain temps, pourraient être une médication efficace et n'ayant rien de nuisible. M. Turk, médecin à Plombières, a eu occasion d'exercer une fois ce mode de traitement et les résultats ont été des plus satisfaisants.

Galvanisation par simple courant. — Les effets physiologiques du courant continu de la pile dépendent essentiellement de son énergie, de la surface des plaques métalliques

en contact avec les différentes parties du corps et de l'état plus ou moins humide de la peau. En conséquence, les pôles de la pile doivent être fixés, soit à des plaques de métal peu oxydable que l'on adapte à des ceintures ou à des bandages, ou dont on fait des manipules, soit à des boules, pointes ou pinceaux métalliques, soit enfin à des éponges que l'on imbibe d'eau rendue conductrice par quelques gouttes d'acide sulfurique. Les effets physiologiques sont, à ce qu'il paraît, très-différents, suivant qu'on fait usage de ces divers accessoires. Avec les pointes ou les boules, on concentre l'action électrique; avec le pinceau métallique, on l'étend et on la divise; avec les plaques, on la disperse; enfin avec l'éponge ou la brosse imbibée, on détruit l'effet calorifique ou de brûlure qui se manifeste avec les autres excitateurs, pour ne laisser subsister que l'action purement surexcitante. Ce dernier système d'excitateur a d'ailleurs l'avantage de permettre l'introduction des courants dans la bouche et les oreilles. Ces accessoires peuvent, comme on le comprend aisément, s'adapter à tous les courants électriques, qu'ils soient simplement voltaïques ou d'induction, qu'ils proviennent de piles à auges ou de chaînes galvaniques. Nous verrons bientôt comment ils ont été combinés par MM. Boulu et autres, pour la confection de cataplasmes, ventouses et sacs électriques.

Suivant M. Duchenne, si la peau est sèche, ainsi que les excitateurs, l'électricité ne traverse pas le derme et produit des étincelles sans phénomène physiologique; si l'un des excitateurs est humide et l'autre sec, le point touché par l'excitateur éprouve une sensation superficielle cutanée; lorsque la peau est légèrement mouillée, la sensation superficielle cutanée est sensiblement plus forte; mais, en rendant humides la peau et les excitateurs, il se produit des phénomènes de contraction et de sensibilité très-variables, suivant qu'on agit sur un muscle, sur un nerf ou sur une

surface osseuse. Dans ce dernier cas, on détermine une douleur vive.

Quand la pile est forte, l'application du galvanisme a pour effet physiologique des contractions assez énergiques, sans commotions, avec un sentiment d'engourdissement qui n'a rien de douloureux, car les commotions violentes ne sont pas le propre des courants continus. Quand la pile est faible, ce sentiment d'engourdissement se change en un chatouillement qui n'a rien de désagréable, avec un accompagnement de chaleur douce. L'action prolongée du courant avec les plaques métalliques entraîne une irritation marquée des parties de la peau où elles sont appliquées, comme le démontrent les pustules blanches qui en sont la conséquence. Ce dernier effet peut être attribué soit à l'excitation résultant de la circulation du courant, soit à son action décomposante, qui produit des principes acides et alcalins réagissant directement sur les parties avec lesquelles ils sont en contact. On peut tirer un parti avantageux de cette réaction pour dénaturer des plaies. C'est ce qui est arrivé à M. Becquerel dans une expérience faite par lui, conjointement avec M. Breschet, à l'Hôtel-Dieu de Paris, sur un homme ayant à la jambe un ulcère rebelle.

Quand on fait passer le courant des nerfs dans les muscles, ces derniers ne se contractent qu'en fermant et en ouvrant le circuit, et aucun effet apparent n'est produit tant que le courant circule. Si le circuit reste fermé pendant quelque temps, le repos seul ou l'action d'un courant dirigé en sens inverse peut leur rendre leur propriété contractile. Ce fait indique que le passage continu du courant dans les nerfs peut être employé utilement dans certaines maladies nerveuses résultant d'un état de surexcitation, attendu que les nerfs, qui ont été parcourus par un courant pendant un certain temps, perdent momentanément la faculté de faire contracter les muscles correspondants. Dans ce cas, l'élec-

tricité, au lieu de réagir comme *excitant*, ce qui arrive avec les courants discontinus, et particulièrement les courants d'induction, réagit comme *calmant*.

Galvanisation par courant interrompu. — Ce système de galvanisation produit un effet précisément inverse à celui des courants continus que nous venons d'étudier. Les réactions d'induction, qui se manifestent au moment de la fermeture et de la rupture du circuit voltaïque, donnent lieu à des commotions plus ou moins vives, dépendant non-seulement de l'intensité du courant, mais encore de la fréquence des interruptions, et réagissent sur les nerfs et les muscles comme *stimulant*. C'est en se fondant sur cette propriété que M. Pulvermacher a adapté à ses chaînes galvaniques l'interrupteur mécanique, que nous avons décrit page 254, 1er vol. Avec ce système, les commotions se succèdent sans interruption, et produisent sur l'économie animale un effet beaucoup plus important que celui des bouteilles de Leyde; elles excitent plus vivement la sensibilité cutanée, désorganisent moins la peau, et suscitent des contractions musculaires plus prolongées.

Les courants interrompus, suivant leur direction à travers les muscles et les nerfs, produisent soit des effets de contraction, soit des effets qui affectent douloureusement la sensibilité. Ces effets ont été analysés avec soin par M. Marianini et plusieurs autres physiciens, et on a constaté qu'il y a sensation de douleur toutes les fois que ces courants traversent les nerfs dans une direction opposée à leurs ramifications, c'est-à-dire allant des extrémités à la tête, tandis qu'il y a contraction quand le courant suit une direction opposée. Les effets subséquents de ces courants sont : le développement de l'énergie générale, une transpiration légère avec calme et une diminution des douleurs.

Galvano-puncture. — L'acupuncture, due aux Chinois, et en grande vogue à Paris à une certaine époque, se pra-

tique, comme on le sait, au moyen d'aiguilles très-fines en or, en argent ou en acier, que l'on enfonce dans les chairs et qui peuvent atteindre, sans inconvénients, les organes les plus profondément situés. En mettant ces aiguilles en rapport avec un courant électrique très-faible, on doit donc avoir une action beaucoup plus directe, beaucoup plus énergique, sur ceux de nos organes qui sont profondément cachés, que par une électrisation superficielle. La galvano-puncture et l'électro-puncture ont donné de fort belles cures à MM. Sarlandières, Magendie, Fabré-Palaprat, Person, Ferro, Récamier, Eberr, etc. Pour bien pratiquer l'électro-puncture, dit M. Massé, il faut implanter les aiguilles en leur imprimant un mouvement de rotation, il faut procéder par saccades, contrairement aux préceptes de Labaume, et donner des interruptions successives au courant pour empêcher les escarres gangréneuses aux points d'implantation. Enfin, règle générale, l'organe malade doit se trouver au milieu d'une ligne qui réunirait les deux conducteurs.

Pénétré de cette idée que ce serait rendre un très-grand service aux malades en substituant une opération simple, unique et sans dangers, aux opérations si fréquentes, toujours douloureuses et quelquefois dangereuses, qu'exige l'électro-puncture, telle qu'on la pratique encore aujourd'hui, M. Boulu a imaginé un système de sétons électriques qu'il décrit de la manière suivante :

« On construit les sétons électriques avec des fils très-fins ou des chaînes très-petites et très-flexibles, en argent ou en platine. Si on se sert de fils fins, il faut en placer deux près l'un de l'autre pour avoir les deux courants ; si, au contraire, on se sert de petites chaînes, il est préférable de les faire à deux courants, ce que l'on obtient en les séparant par le milieu avec un petit morceau d'ivoire.

« Afin d'obvier aux inconvénients causés par les aiguilles

constamment en contact avec la peau, pendant toute la durée de l'opération, nous avons fait établir des sétons isolant parfaitement le tissu dermoïde, qui est, comme l'on sait, très-avide d'électricité ; ces sétons isolants portent avec eux leurs deux courants bien distincts. Ils se font avec des fils métalliques très-fins, passés dans de petites sondes de gomme élastique très-flexible, et percée au milieu et d'un seul côté de quatre petits trous destinés à donner passage aux fils dans une étendue d'un centimètre environ pour chacun. Le reste du tube sert à isoler la peau et laisse dépasser de deux centimètres environ les fils métalliques qui sont destinés à conduire le fluide galvanique dans l'intérieur des organes.

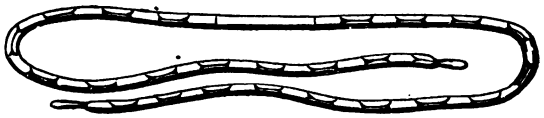


Fig. 6.

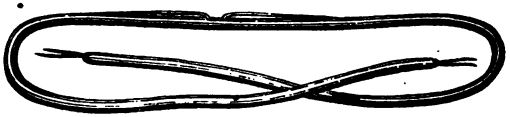


Fig. 7.

« Il est bien entendu que pour l'introduction de ces petits sétons, nous nous servons encore des aiguilles de notre honorable confrère, M. Bouvier, et nous ne pouvons mieux faire que de citer ici les sages conseils qu'il donne à ce sujet : « Les aiguilles à séton, dit-il, doivent être très-« étroites, terminées en fer de lance pour mieux pénétrer « dans les tissus. Elles doivent être droites ou courbes, sui-« vant la direction transversale ou longitudinale que doivent « avoir les sétons ; afin de rendre leur introduction plus « facile, les aiguilles doivent porter du côté opposé à la

« pointe, au lieu de chas, une fente ou pince faisant ressort, dans laquelle se trouve fixée l'extrémité du fil métallique ou de la chaîne. »

« Nous ajouterons que, pour l'usage auquel nous destinons nos sétons, les aiguilles devront avoir une longueur, une courbure et une épaisseur, qui varieront suivant les cas dans lesquels on les emploiera.

« Le séton électrique peut avoir des applications thérapeutiques; il peut être d'un grand secours dans le traitement des adénites rebelles, qui ne pourront être entièrement guéries par l'application du fluide électrique, au moyen de nos appareils. On comprend, en effet, tous les résultats avantageux que pourra produire le fluide électrique, tout à la fois appliqué à l'extérieur et conduit à volonté jusque dans la profondeur des organes. Le séton électrique pourra encore être employé avec avantage dans les goîtres, dans certaines tumeurs du sein, de l'ovaire, dans quelques cas d'anévrismes, dans les paralysies en général.

« On pourra multiplier, au besoin, le séton électrique sur une seule ou plusieurs parties du corps, et rendre à volonté le courant permanent, dans l'intervalle des secousses, à l'extérieur comme à l'intérieur, en faisant usage de la nouvelle pile que vient d'imaginer M. Breton, sous forme de mixture galvanique. Pour arriver à ce résultat si avantageux, il suffira de fixer l'une des extrémités des sétons au *pôle positif* de la mixture, et l'autre à son *pôle négatif*.

« Le séton électrique sera d'un emploi facile et peu douloureux, puisque avec les isoloirs, la peau sera toujours garantie, et, qu'une fois le séton en place, le médecin pourra faire à son gré toutes les applications du fluide électrique. Enfin, les malades n'ayant plus à endurer des piqûres renouvelées sans cesse, l'électro-puncture, pratiquée au moyen

du séton métallique, ne sera plus un épouvantail pour eux. Aussi se soumettront-ils volontiers au traitement électrique pratiqué de cette manière, quelle qu'en soit la durée.

« Enfin, le séton électrique pourra être encore d'un grand secours chez les sujets atteints d'engorgements ganglionnaires liés à un état diathésique. L'excitation produite par le fluide électrique à courants continus ou intermittents, et la chaîne métallique qu'on peut enduire au besoin d'une pommade, amèneront plus promptement la fonte purulente des tubercules, s'il y en a, et, à mesure que la suppuration s'établira, le pus trouvera une issue facile et permanente par les bords du séton.

« De cette manière, nous évitons des opérations, des désordres extérieurs qui amènent si souvent l'amincissement de la peau, sa chute, et, par conséquent, des cicatrices plus ou moins difformes.

« La chaîne galvanique, flottant au milieu des ganglions suppurés, fera l'office des petites mèches que nous avons vu employer depuis quelque temps par plusieurs chirurgiens distingués, entre autres par MM. Bonnafont et Guersant, pour vider certains abcès, principalement ceux du cou. »

Moxa-galvanique. — Quand les décharges électriques appliquées sur le rachis n'ont pas un effet d'excitabilité suffisant, il est nécessaire de faire réagir la galvanisation de manière à produire l'effet des moxas. Pour cela, deux vésicatoires sont appliqués à une certaine distance l'un de l'autre, mais de manière à ce que l'un d'eux soit dans le voisinage du membre ou de l'organe paralysé. Sur ce dernier vésicatoire est placé un disque de zinc attaché à un fil de cuivre, sur l'autre est appliqué un disque d'argent. Ils sont tous deux recouverts d'une compresse mouillée, couverte elle-même de taffetas gommé, et les deux fils métal-

liques attachés à chaque disque sont mis en contact pour fermer le circuit. Le malade éprouve alors une sensation particulière, seulement sous le disque d'argent; mais il se forme sous le disque de zinc une couche de matière blanche assez épaisse, semblable à la lymphe, qui n'existe pas sous l'autre, et qui finit par former une escarre plus ou moins épaisse, qui tombe bientôt. M. Bird a obtenu par ce moyen des guérisons remarquables.

On a appliqué encore les moxas électriques d'une autre manière, pour réagir dans les régions les plus profondes du corps. Pour appliquer ce genre de moxas, on introduit dans la partie affectée une aiguille de platine que l'on met en communication avec l'un des pôles d'une pile composée d'éléments à large surface, tandis que l'autre pôle est en relation, à l'aide d'une plaque métallique, avec une partie du corps voisine de celle où se trouve l'aiguille. A l'instant de la fermeture du circuit, l'aiguille s'échauffe jusqu'à l'incandescence et brûle les chairs contiguës, en produisant une très-vive douleur de courte durée. Il ne tarde pas à se développer une inflammation, comme dans l'application du moxa, puis une escarre qui finit par tomber sous forme de tuyau de plume. On pourrait aussi se servir d'un fil conjonctif en platine reployé en un point, de manière à former une sonde ayant un plus petit diamètre que le reste du circuit.

Application des effets calorifiques des courants aux opérations chirurgicales. — La propriété qu'ont les courants électriques de rougir instantanément des fils métalliques de petite section, a été employée avec succès dans la médecine pour cautériser certaines fistules, plaies ou autres maladies de ce genre, et dans les opérations chirurgicales pour la section des chairs et leur cautérisation.

Il faut pour cela de grandes piles de Grove ou de Bunsen à large surface, car dans ce cas c'est de *l'électricité de*

quantité qui est nécessaire. L'effet cautérisant des fils de platine ainsi rougis, a été reconnu exister sur toute la longueur du fil ; mais l'épaisseur des escarres est quelquefois plus grande aux points d'entrée et de sortie que vers le milieu du trajet. On s'est ensuite assuré que cette épaisseur des escarres était en rapport avec la grosseur du fil employé, la durée et l'intensité du courant, et que la cautérisation était obtenue dans peu de secondes. M. Crussel, de Saint-Pétersbourg, a pu cautériser ainsi un fongus hématoïde. M. Marshall, de Londres, en a fait autant à l'égard d'une fistule salivaire consécutive à plusieurs abcès de la joue ; il lui a suffi d'introduire dans le trajet fistuleux un fil de platine très-fin, et de mettre en rapport les deux extrémités de ce fil qui ressortaient, l'une en dehors de la joue, l'autre dans la bouche, avec le circuit de la pile. Au bout de neuf secondes, le trajet fistuleux était cautérisé, et le malade n'avait ressenti qu'une sensation de brûlure à la joue et de piqûre à l'intérieur de la bouche, sans aucune douleur dans le trajet fistuleux. L'escarre tomba le cinquième jour, l'ouverture était fermée le huitième, et, onze jours après, la cautérisation était complète.

En employant le même procédé, M. Amussat fils a pu : 1° cautériser l'intérieur d'une grenouillette, du volume d'une grosse amande, et la guérir ; 2° cautériser l'intérieur d'une vaste cavité anfractueuse, occupant toute la face postérieure de la glande mammaire droite, chez une femme de 24 ans, et la cicatriser ensuite ; 3° cautériser extérieurement et intérieurement le col de l'utérus dans le cas d'engorgement avec ulcération de cette partie de l'organe ; 4° faire l'ablation de deux tumeurs cancéreuses, l'une siégeant dans la paume de la main et ayant 10 centimètres en longueur et 8 en largeur, l'autre, plus volumineuse, dans la région mamaire. Du reste, plusieurs médecins à Vienne ont employé ce moyen, et il a toujours réussi.

M. J. Regnauld a employé aussi avec succès la galvanisation cautérisante dans plusieurs cas où le cautère actuel ne pouvait être employé. L'instrument dont il a fait usage avait la forme suivante : un manche cylindrique en buis de 20 centimètres de longueur et de 15 millimètres de section est creusé dans le sens de son axe de deux gouttières cylindriques séparées par un espace central plein de 5 millimètres d'épaisseur. Dans ces deux gouttières d'un diamètre de 5 millimètres s'engagent à frottement deux tiges de cuivre qui dépassent le manche de 3 centimètres à chacune de ses extrémités. D'un côté ces tiges sont fendues et creusées d'un pas de vis sur lequel s'adapte un écrou mobile, de l'autre elles sont aplaties et supportent chacune une vis de pression.

Les dernières extrémités sont destinées à mettre le cautère en relation avec les deux rhéophores d'une pile; les premières à porter un fil de platine offrant la forme d'un stylet, et dont chacun des bouts s'engage dans les rainures des tiges de cuivre et y est maintenu solidement par les écrous. Le diamètre, la longueur, la forme du stylet peuvent être modifiés suivant les besoins de l'opérateur. Celui-ci ne doit pas toutefois oublier que pour une pile dont l'intensité serait toujours la même, il doit faire varier dans un rapport inverse la longueur du fil et sa section; sans cela il s'expose, soit à le fondre, soit à ne pas attendre l'incandescence.

« Les avantages de cet appareil, dit M. Regnauld, naissent, d'une part, de la très-haute température que peut atteindre le stylet, et d'autre part, de sa masse peu considérable. Voici, d'après M. Nélaton les indications de son emploi en chirurgie.

« 1° Cautérisation exercée sur un point très-limité à l'aide d'un instrument dont la température est très-élevée, cas

dans lequel on veut obtenir une destruction complète dans un espace bien circonscrit.

« 2° Cautérisation au fond d'une cavité naturelle (pharynx, isthme du gosier, fosses nasales, conduit auditif externe, etc.).

« 3° Cautérisation étendue se faisant à travers un orifice étroit et permettant la conservation du tégument externe (destruction des tumeurs érectiles sous-cutanées à travers une perforation très-étroite des téguments).

« 4° Excision périphérique tendant à produire, sans hémorragie, l'ablation de certaines tumeurs dans les régions où l'écoulement sanguin pourrait rendre l'opération difficile ou dangereuse. »

M. Middeldorp, professeur de pathologie chirurgicale à l'Université de Breslau, va plus loin, et prétend que des fils ou des lames de platine portés au rouge-blanc, par le courant électrique, peuvent remplacer *le plus grand nombre des instruments actuels de la chirurgie et servir à presque toutes les opérations,* de manière à constituer un art entièrement nouveau.

Les instruments qu'emploie M. Middeldorp sont : 1° différents cautères (cautère simple, cautère à coupole, en porcelaine, cautère du sac lacrymal, cautère pour les rétrécissements; ce dernier instrument est droit ou courbe); 2° le séton galvanique; 3° le porte-ligature galvanique ou anse coupante, susceptible de pénétrer là où l'accès est interdit à tout autre instrument tranchant, et réunissant à la fois les avantages de l'incision, de la ligature et de la cautérisation. Les instruments s'adaptent à la pile à l'aide des fils conducteurs; un mécanisme particulier permet d'exciter ou de suspendre le courant, et, par conséquent, de faire naître dans les instruments une chaleur intense ou de les refroidir à volonté.

« Les avantages les plus essentiels de cette méthode sont, dit M. Middeldorp, l'absence d'hémorragie par les petits vaisseaux ; la faculté d'employer une température très-élevée, de produire une action des plus énergiques et qui, cependant, est nettement limitée ; l'accès rendu possible à un instrument qui divise et brûle dans des régions où le bistouri, les ciseaux, le cautère ordinaire, ne peuvent absolument pas pénétrer, et, s'ils y pénètrent, ne peuvent rester sans blesser les parties, ou tout au moins sans se refroidir ; la possibilité de conduire des instruments très-déliés à travers des ouvertures étroites, et, au besoin, par la méthode sous-cutanée ; l'avantage d'une chaleur ayant sa source dans les instruments eux-mêmes, et que l'on est maître d'augmenter, de modérer ou d'arrêter.

« Ce feu intelligent, que l'on pardonne l'expression, permet de couper, de fendre, d'exciser, de faire des cautérisations pointillées, rayées ou sur de larges surfaces ; d'arrêter les hémorragies, de provoquer l'inflammation de certains tissus, la coagulation du sang, la suppuration, le développement de granulation de bonne nature ; enfin, étant introduits à froid, les instruments galvano-caustiques n'inspirent aux malades aucune frayeur ; une fois en place, il suffit d'une pression avec les doigts pour les porter au rouge. Toutefois, quand il s'agit d'obtenir un effet hémostatique, il ne faut pas que la chaleur atteigne un degré trop élevé, ni que l'instrument soit manié avec trop de rapidité.

« A la suite des opérations galvano-caustiques, l'inflammation est bien limitée, jamais diffuse. Sur plus de quatre cents opérations de ce genre que j'ai pratiquées, je n'ai pas observé un seul cas d'érysipèle, de pyohémie ni d'hémorragie secondaire..... Plusieurs centaines d'observations attestent l'inocuité et les avantages d'une méthode qui, maintes fois, a permis de mener à bonne fin les tentatives

les plus difficiles de la médecine opératoire, alors que les procédés généralement usités n'offraient guère de chance de succès. Sans doute, ni la physique ni la chirurgie n'ont dit leur dernier mot ; mais les faits déjà acquis me semblent suffisamment nombreux pour asseoir sur cette base une conviction motivée. Ce que je me propose, ce n'est ni de proscrire systématiquement le bistouri, ni d'adopter exclusivement le feu ; mais bien de remplacer la méthode ordinaire de cautérisation par une autre plus rationnelle, meilleure, susceptible d'applications plus étendues et plus variées. »

Cataplasmes galvaniques. — Dans certains cas de paralysie, névralgie, dyspepsie, le docteur Récamier a employé avec un grand succès une combinaison galvanique à laquelle il a donné le nom de *cataplasme galvanique.* Chaque appareil se compose : 1° de deux disques métalliques, l'un rose, l'autre bleu, contenant chacun seize éléments, cuivre et zinc, avec pôles positifs et négatifs ; 2° de coussinets dont l'une des deux faces des disques est munie, tandis que l'autre est piquée ; 3° d'un conducteur métallique unissant les deux disques.

Pour en faire usage, on applique les disques à nu sur la peau du côté de la piqûre, et on les recouvre de leurs coussinets, de manière que l'air ne puisse entrer entre les disques et la peau. La sueur provoquée par le cataplasme lui-même occasionne le départ de l'électricité. S'il n'en était pas ainsi, il suffirait d'humecter chaque disque avec de l'eau chaude, salée ou acidulée, ou bien encore d'interposer une flanelle imbibée d'eau salée. Rien n'empêche de mouiller cette flanelle avec une solution de sulfate de zinc, de sulfate de fer et d'iodure de potassium, pour agir plus efficacement dans certains cas. On applique cet appareil en se couchant, et on peut le garder six heures, douze heures et et même vingt-quatre heures. Cependant, il vaut mieux en

suspendre l'emploi de temps en temps. L'avantage prétendu de ce système galvanique, c'est qu'on peut répartir en des endroits du corps éloignés les uns des autres l'action de deux piles distinctes ayant pourtant une action homogène.

Tissus galvaniques. — On a proposé plusieurs tissus dits *électro-magnétiques, idio-électriques* consistant, soit dans des bandes enduites de gutta-percha et saupoudrées de poussières de zinc et de cuivre mêlées, soit dans des tissus enduits de substances conductrices fournissant, soi-disant, de l'électricité statique. Le seul inconvénient qui existe dans ces tissus, c'est qu'aucune réaction électrique ne peut être fournie par eux, puisque tous les éléments qui les composent ne sont pas dans les conditions voulues pour que l'électricité qu'ils pourraient dégager soit recueillie et profitable à la médication.

Mixtures galvaniques. — La pile de MM. Breton que nous avons décrite page 460 (1er vol.) et qui est composée de poudres de cuivre et de zinc mélangées avec de la sciure de bois et du chlorure de calcium, a été disposée de manière à constituer une mixture galvanique qui remplace avantageusement tous les cataplasmes, tissus et autres excitants électriques, puisque étant toujours entretenue humide et fournissant l'élément négatif isolé de l'élément positif, une certaine quantité d'électricité se trouve toujours produite quand un conducteur métallique réunit ensemble les deux mixtures qui, d'ailleurs, peuvent être placées en tels ou tels points du corps qu'il convient. MM. Breton, du reste, ont fait avec ces mixtures, enveloppées dans de la flanelle, des ceintures électriques qui peuvent conserver leur puissance électrique pendant des années entières, ainsi que l'assure M. Gautier de Claubry. Ces mixtures ont été l'objet d'un rapport favorable à l'Académie de Médecine, fait par M. Bouvier.

Chaînes galvaniques. — Les chaînes galvaniques de

M. Pulvermacher que nous avons décrites page 114, 1er vol., sont, avec les ceintures précédentes, le moyen le plus simple et le moins gênant d'administrer les courants continus, leur souplesse, leur petit volume permettent de les porter continuellement, et si l'on a soin de les bien humecter de vinaigre, leur action se continue pendant un certain temps. Elles permettent aussi l'électrisation par courants discontinus quand on y interpose l'un des deux interrupteurs que nous avons décrits pages 254 et 257, 1er vol.

On a donné à ces chaînes deux formes différentes, selon les usages auxquels on les destine et suivant les parties du corps sur lesquelles on doit l'appliquer; elle est longue et étroite quand les éléments sont placés bout à bout, elle est courte et large lorsqu'ils sont disposés parallèlement les uns aux autres; mais quelle qu'en soit la forme, le même nombre de maillons présente la même force électrique.

Il y a *deux manières* d'appliquer la chaîne, soit dans le sens de la LONGUEUR, soit TRANSVERSALEMENT. Dans le premier cas, que nous nommerons *en ceinture*, le *crochet* de la boucle dorée se passe dans l'*agrafe* également dorée de la chaîne; on répète la même manœuvre à l'égard du *crochet* et de l'*agrafe* argentée; il suffit ensuite de *tendre* et *consolider* la chaîne en engageant les deux crochets qui la terminent dans les *œillets* dont est pourvu le *ruban élastique* qui l'accompagne.

Pour l'application *longitudinale*, au contraire, après avoir fixé le *crochet* de chaque extrémité de la chaîne dans le *trou* correspondant de chaque boucle, on applique à plat sur la peau chacune de ces dernières, et l'on maintient le tout avec *deux rubans* placés *en ceinture* et recevant dans leurs *œillets* les *deux crochets* libres de chaque boucle. On a remarqué que l'application du pôle désigné par le crochet *blanc* sur la partie malade *accélérait* la guérison.

En tout cas, les points d'application ne peuvent être

invariablement déterminés que par le malade lui-même : comme l'action de la chaîne dans son degré de force *le plus énergique* se manifeste souvent par des *picotements*, et que l'application peut ainsi en devenir *momentanément* gênante, rien n'empêche de choisir un autre point d'application ; l'essentiel, c'est que le *courant* ne *cesse* de *traverser la partie malade*.

Une chaîne *neuve* doit toujours être humectée au moins *une fois*, quand bien même on la destinerait à produire un courant *doux et continu*, et il faut avoir soin de la laisser sécher un peu avant de l'appliquer sur le corps. Dans les cas où l'on doit se servir d'une chaîne excitée *à son plus haut degré*, il faut l'humecter au moins deux fois par jour, mais cesser aussitôt qu'elle cause des vésicules à la peau [1].

1. M. Pulvermacher indique de la manière suivante comment on doit faire usage de sa chaîne dans certaines maladies qu'on peut traiter soi-même par ce moyen.

N° 1. *Maladies nerveuses de la tête, Faiblesse de la vue, etc.* — Pour guérir les douleurs accidentelles de tête, il faut appliquer, pendant une ou deux minutes, une longue chaîne bien imbibée du liquide indiqué. — On fixe un bout de chaque côté de *la partie de la tête* où siége la douleur, et lorsque le picotement produit sur la peau devient trop sensible, on retire les bouts de la chaîne et on les réapplique alternativement, en ayant soin de changer de place, de manière à faire traverser en tous sens la partie malade par le courant. (Dans ce cas et dans tous ceux où la chaîne sera fixée avec la main, il faudra se ganter d'un gant de peau pendant l'application. Dans les cas où l'on doit appliquer la chaîne sur les cheveux, il faut les mouiller au préalable : n'étant pas des corps conducteurs à l'état sec, ils ne donneraient pas passage à l'électricité.

Pour la faiblesse de la vue et le rhume de cerveau (coryza), où les nerfs n'ont besoin que d'une impulsion momentanée, l'application est la même que ci-dessus ; mais lorsque ces maladies sont invétérées, il est nécessaire de porter une petite chaîne pendant quelque temps, de manière à faire traverser le cerveau par le courant.

N° 2. *Maux de dents et Tic douloureux.* — Il faut appliquer une longue chaîne, un bout sur la gencive intérieure ou extérieure, ou sur la dent, suivant que la douleur siége dans la gencive ou dans la dent, et l'autre bout sur l'articulation de la mâchoire, vers l'oreille.

Pour réduire les tumeurs, guérir les maladies chroniques, prévenir le

Au milieu du déluge de chaînes et rubans galvaniques qui ont dans ces derniers temps envahi les boutiques des

retour des douleurs aiguës, il faut fixer une chaîne longue autour du cou, un bout de chaque côté de la colonne vertébrale et le reste de la chaîne pendant sur la poitrine.

Pour le tic douloureux l'application est la même ; mais si l'*application* doit être longue, il faut fixer un bout de la chaîne sur la colonne vertébrale, l'autre sur la partie malade, et changer de temps en temps en plaçant chaque bout à l'un des côtés de la colonne vertébrale.

N° 3. *Rhumes de cerveau et affections chroniques des organes de l'odorat, Croup et affections spasmodiques de la trachée-artère.* — Le courant passant à travers la partie supérieure de la colonne vertébrale et agissant sur les nombreuses ramifications du cou, produit généralement une salutaire transpiration, surtout si l'on emploie une grande chaîne. — Si les organes de la respiration sont en désordre, on place les bouts de la chaîne sur l'épine dorsale.

N° 4. *Coqueluche, Bronchite, Asthme, etc.* — Un bout au cou, sur la trachée-artère, et l'autre sur la colonne vertébrale. Action douce et constante.

N° 5. *Affections pulmonaires et maladies de la poitrine, Points de côté, etc.* — Il faut appliquer une chaîne dont les deux bouts soient fixés de chaque côté de la poitrine et le milieu derrière le cou. — Pour la toux chronique et les douleurs de même caractère, il faut placer un bout devant la poitrine et l'autre entre les deux omoplates.

N°s 6 et 7. *Rhumatisme de l'épaule, du bras, etc., Paralysie du bras.* — Il faut fixer un bout sur la colonne vertébrale, entourer légèrement le bras avec la chaîne, en passant le plus près possible du siége de la douleur, et fixer l'autre bout à l'extrémité du bras. — Si la douleur est dans la partie inférieure de l'épaule, il faut fixer le pôle de la chaîne qui se trouve à la colonne vertébrale entre les deux omoplates. Dans le cas de paralysie locale, on place la chaîne le long de l'épine dorsale pendant quelques heures.

N° 8. *Cardisie et Atonie du cœur.* — Un bout sur la colonne vertébrale et l'autre sur le devant de la poitrine, du côté gauche, renfermant les ramifications nerveuses. — Action douce.

N° 9. *Maladies du foie, Congestions, Hémorroïdes, etc.* — Un bout de la chaîne devant la poitrine, du côté droit, et de l'autre à l'épine dorsale. Dans le cas d'hémorroïdes rentrées et complètement développées, il faut faire passer le courant de temps en temps à travers l'abdomen en plaçant un bout au-dessous de l'os sacrum et l'autre sur le bas-ventre.

N° 10. *Indigestions, Vomissements, Atonie générale, Anorexie, Manque d'appétit.* — Le bout blanc de la chaîne sous l'épigastre, et l'autre sur

pharmaciens, nous signalerons, pour la curiosité du fait, les armatures métalliques du docteur Burq, qu'il prétend

l'épine dorsale, à la hauteur qu'indiquent les symptômes de chaque cas

N° 11. *Histérie et maladies des femmes. — Affections des reins, de la vesssie, etc.* — Faire traverser par le courant la partie malade.

N° 12. *Enflure et ulcération de l'articulation du genou.* — Le courant doit passer à travers la partie postérieure de l'articulation, afin de favoriser l'absorption.

N° 13. *Sciatique et Lumbago.* — Un bout sur l'os sacrum et l'autre fixé sous le jarret, le reste de la chaîne entourant légèrement le membre malade.

N° 14. *Rhumatisme de l'articulation du genou.* — Entourer le genou avec la chaîne.

N° 15. *Ulcères indolents, Varices, etc.* — L'ulcère doit être traversé par le courant, afin d'en rétablir la vitalité. — Pour les varices, le cylindre interrupteur doit être adapté au milieu de la chaîne, et, dans le cas d'ulcère, celle-ci doit être fixée de manière qu'elle ne touche pas la place affectée, mais de telle sorte que le courant puisse la traverser.

Nos 16 et 17. *Faiblesse de la cheville du pied, Goutte, etc.* — Dans les cas de goutte dans les doigts de pied, il faut fixer le plus souvent possible un bout de la chaîne sur le doigt malade et l'autre sous la cheville intérieure du pied. — Dès que la goutte se déplace, il faut la suivre avec la chaîne, que l'on fixe sur la place où s'est portée la douleur, et prendre en même temps une médecine apéritive douce.

La goutte est une maladie qui, dans la plupart des cas, ne peut se bien guérir que graduellement; et la *chaîne, appliquée par un médecin,* offre de très-grands avantages dans un traitement bien suivi.

N° 18. *Névralgies dans les épaules et les bras.* — Il faut fixer un bout de la chaîne sur la colonne vertébrale et l'autre au coude, de telle sorte que la chaîne soit fixée sur la place où siége la douleur.

N° 19. *Maladies de l'épine dorsale et du système nerveux en général. — Débilité générale, Épilepsie, Paralysie.* — Un bout sur la nuque du cou (pour l'épilepsie et la paralysie, aussi haut que les cheveux le permettent), et l'autre sur l'os sacrum, de manière à faire passer le courant dans toute la longueur de l'épine dorsale, afin d'exciter la vitalité des nerfs. Dans la paralysie, et généralement dans toutes les maladies qui demandent un traitement prolongé, *il est bon,* pour augmenter l'influence continuelle de la chaîne, d'*ajouter* de temps en temps (*chaque* jour, ou tous les deux ou trois jours) quelques secousses aux nerfs affectés, au moyen d'*une forte* batterie de chaînes, avec un interrupteur. — Si l'on n'a pas une batterie, il suffit d'adapter un interrupteur au milieu de la chaîne ordinaire pour accélérer la guérison.

ne pas être galvaniques, ni même magnétiques; du moins, c'est ainsi qu'elles sont annoncées sur la boutique, rue Vivienne, qui en a le dépôt.

Les armatures métalliques du docteur Burq se composent de quatre, huit, douze, vingt, soixante, etc., petites plaques ou éléments doubles en cuivre rouge et en acier anglais, laiton et acier d'Allemagne, offrant alternativement d'un côté le cuivre rouge et le laiton, et sur le revers l'acier d'Angleterre et l'acier d'Allemagne. Chaque petite plaque présente en relief un dessin ou une légende, pour indiquer les différents modes d'application de ces chaînes et donner aux métaux une certaine rugosité qui leur est quelquefois fort utile.

On peut encore, suivant M. Burq, en se servant d'une baignoire formée par égales parties de ces divers métaux, exercer leur effet simultané sur toutes les parties du corps.

Comme chaînes électriques, nous devons signaler encore les *colliers d'ambre jaune*, du docteur Gérard. Ils ont été employés avec succès, dit-il, contre une maladie nerveuse de orme convulsive. Plus les grains d'ambre sont gros, plus ils ont de puissance. On peut commencer avec 70 grammes et porter la dose à 500.

Pointes et instruments voltaïques. — Ces appareils sont très-inoffensifs, quoique par leur composition, cuivre et zinc, ils constituent un élément de pile; mais il est facile de comprendre que jamais ils ne dégagent une assez grande quantité d'électricité pour exercer un effet physiologique important. De ce nombre sont les pointes galvaniques de Perkins, les tracteurs métalliques de Perkinson, le forceps galvanique de M. Kilian, les pinces du docteur Claude Bernard.

Appareil du docteur Mansford. — Ce genre d'appareils ressemble considérablement à celui que nous avons déjà décrit sous le nom de *moxa galvanique*. Néanmoins, comme

il a été employé avantageusement dans certains cas, je vais en faire une description spéciale.

L'on pose d'abord deux vésicatoires, l'un à la nuque, l'autre à la face interne du genou. Sur le premier, on place une plaque d'argent. A la surface de cette plaque existe un manche ou tige, et sur son bord parallèlement à la tige est adapté un petit anneau auquel se fixe le conducteur. Ce dernier descend le long du dos jusqu'à une ceinture de peau de chamois attachée autour du corps, puis il suit le trajet de la ceinture jusqu'à l'aîne du côté où on veut l'employer. De là il arrive à la jambe et se fixe à une plaque de zinc qui recouvre le vésicatoire inférieur. L'appareil ainsi préparé, l'on pose sur la plaie du cou un petit morceau d'éponge humide de la grandeur de la plaie elle-même; on met dessus un second morceau d'éponge également mouillée, du diamètre de la plaque métallique, qui est appliquée et maintenue sur le tout à l'aide de trois bandelettes de taffetas d'Angleterre qui passent l'une au-dessus, l'autre en dessous et la troisième en travers de la tige. La plaque de zinc est disposée de la même manière, à cela près, que le second morceau d'éponge est remplacé par un morceau de muscle, de peau de bouc ou de parchemin. L'appareil ainsi arrangé marche de 12 à 24 heures, selon les circonstances. Au bout de ce temps, il faut nettoyer les plaies et enlever l'oxyde qui recouvre la plaque de zinc.

Suivant MM. Trousseau et Pidoux, les chocs électriques devraient être préférés pour donner de fortes excitations aux muscles de la vie de relation, tandis que le galvanisme devrait être réservé pour les muscles de la vie organique et pour les organes d'une texture délicate. Quoi qu'il en soit l'électricité dynamique pouvant s'arrêter à la peau, pouvant agir sur un muscle, sur un nerf ou sur les os et arriver même jusqu'aux organes les plus profondément

situés, est susceptible d'être appliquée à tel ou tel organe malade sans compromettre en même temps les organes sains qui sont dans le voisinage. Elle doit être employée, dit M. Duchenne, dans tous les cas où il est nécessaire de produire une vive action instantanée et durable, comme celle du moxa ou du fer rouge. M. Matteucci a conseillé contre le tétanos l'administration d'un courant continuel comme hyposthénisant du système nerveux; ce n'est pas encore d'un avantage bien constaté. Du reste, les propriétés chimiques du galvanisme ont été mises à contribution pour la cure des anévrismes, pour changer la nature des sécrétions d'une plaie, pour détruire les cancers, pour décomposer les calculs vésicaux, pour annihiler l'effet d'un virus ou d'un poison. Mais cette vertu thérapeutique de l'action chimique du courant galvanique n'est encore, à vrai dire, qu'à l'état de théorie. L'action du galvanisme sur la rétine peut être mise utilement à profit pour la cure de l'amaurose. La galvanisation musculaire doit être faite avec les courants intermittents. Dans ce cas les appareils d'induction sont toujours préférables.

Electrisation par induction. — L'étude des différentes machines d'induction, que nous avons décrites dans notre premier volume, nous a démontré que les effets physiologiques des courants d'induction étaient différents suivant qu'ils étaient de premier ou de second ordre, ou qu'ils étaient rendus à l'état statique par suite d'un isolement plus parfait des fils. Ces différentes conditions des courants électriques ont pu être utilisées médicalement et constituent quatre manières de les administrer.

Electrisation par les courants de premier et de second ordre. — Nous avons vu, page 368, 1er vol., que M. Duchenne avait combiné ses appareils de manière à obtenir de la part de l'extra-courant né au sein de l'hélice inductrice, et appelé par lui courant de premier ordre, une

energie considérable presque égale à celle qui accompagne les courants développés au sein de l'hélice induite, et qu'il appelle courants du second ordre. Ces deux espèces de courants, appliqués sur la peau au moyen d'excitateurs humides, pénètrent dans les tissus à des profondeurs inégales, bien que leur force excitatrice apparente soit la même[1]. Ainsi, le courant du premier ordre ne dépasse pas les muscles les plus superficiels, tandis que le courant du second ordre va exciter les contractions jusque dans le plan opposé du membre si celui-ci est peu épais, comme l'avant-bras par exemple.

Cette différence d'action des deux courants, qui tient évidemment à leur différence de tension[2], n'est pas le seul caractère qui les distingue. Ainsi, la sensibilité des muscles semble être plus vivement excitée par le courant du premier ordre que par celui du second ordre, lorsque l'un et l'autre sont portés directement sur le tissu musculaire à travers la peau convenablement humectée. Au contraire, le courant du second ordre est celui qui provoque les contractions les plus énergiques dans les muscles plus rappro-

1. Pour égaliser la force apparente de ces courants, M. Duchenne emploie les graduateurs métalliques ou liquides dont nous avons parlé pages 369, 378 et 381, 1er vol., et règle cette force d'après les commotions que l'on éprouve en prenant dans chaque main un des rhéophores de l'appareil. Pour que l'expérience n'ait rien de pénible, on fait à la main les interruptions du courant inducteur, et on affaiblit les deux courants jusqu'à ce que les secousses soient égales en force. Comme les appareils de M. Duchenne sont munis d'un commutateur, il est facile de faire passer alternativement les deux courants à travers les rhéophores, ce qui rend l'appréciation plus facile.

2. Cette différence de tension est facile à constater au moyen du graduateur liquide de M. Duchenne. Ainsi, les deux courants ayant été égalisés, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment, le courant du premier ordre cessait d'être perçu avec une résistance d'eau de 8 centimètres, tandis que le courant du second ordre était encore appréciable au delà d'une couche d'eau de 30 centimètres.

chés du tronc que les points sur lesquels il est introduit. M. Duchenne, attribuant dans ce cas à l'action reflexe de la moelle épinière, provoquée par l'électrisation des nerfs sensitifs, les contractions qui se manifestent au-dessus des points excités, en conclut que le courant du deuxième ordre agit plus fortement que l'autre sur le centre nerveux.

Cette conclusion, il est vrai, n'a pas été tout à fait admise par le docteur Bouvier, chargé par l'Académie de médecine de faire un rapport sur ces effets électriques. Mais, comme le dit le savant rapporteur lui-même, *le fait n'en subsiste pas moins, quelque interprétation qu'on lui donne.*

Suivant M. Duchenne, les cas où l'on doit faire usage de ces deux espèces de courants sont indiqués par leurs propres caractères. Ainsi, ont doit employer les courants de premier ordre pour l'électrisation des muscles minces et superficiels, particulièrement les muscles de la face, surtout lorsqu'il est indiqué de dissiper leur torpeur par une vive excitation de leur sensibilité, comme dans la paralysie et l'atrophie locales. Au contraire, le courant du second ordre devra être appliqué quand l'électricité devra pénétrer dans les masses musculaires profondes, lorsqu'il sera utile de provoquer des contractions énergiques sans exciter trop vivement la sensibilité musculaire, comme chez les enfants ou dans les paralysies de cause cérébrale; on emploiera encore ce même courant lorsqu'on voudra déterminer une forte révolution cutanée ou agir sur la peau dans les anesthésies graves, enfin quand on devra exciter la rétine.

Electrisation par courants statiques. — Nous avons déjà dit que la plupart des médecins regardaient comme bien différents les effets électro-médicaux dus à l'action de l'électricité dynamique ou à celle de l'électricité statique. « Les « mille nuances de l'électricité thérapeutique, dit le docteur

« Bouvier, jouissent de propriétés très-diverses, quelquefois « même opposées. Il en est du principe de l'électricité « comme du principe de la chaleur. L'eau tiède est un « relâchant, un émolliant, un calmant; le fer rouge un sti- « mulant des plus énergiques. De même, les chatouille- « ments, les frémissements, les vibrations intérieures, pro- « duits par certains modes d'électrisation, exercent une « action tout autre que les commotions musculaires, que « les sensations cutanées de déchirement de brûlure des « électrisations plus intenses. » D'autres médecins vont encore plus loin, et attribuent aux deux genres de manifestation électrique une vertu particulière et indépendante de leur différence de tension. Quoi qu'il en soit, les courants d'induction de la machine de Ruhmkorff, en raison de leur nature semi-statique, semi-dynamique, peuvent être d'un secours d'autant plus précieux au point de vue médical, que l'énergie des commotions n'a pas de limite. Nous avons vu, en effet, page 386, 1er vol., comment avec les condensateurs on pouvait augmenter presque indéfiniment la force de ces courants; on peut les diminuer de même en s'y prenant d'une manière particulière, que nous allons expliquer. D'un autre côté, des étincelles et même des aigrettes de feu peuvent être provoquées de la part de ces courants, de sorte qu'un appareil de Ruhmkorff tient lieu, pour un médecin, d'une machine électrique, d'une pile voltaïque et d'un appareil électro-médical.

On sait que si l'on interpose entre les deux armures d'une bouteille de Leyde une tige métallique suffisamment grosse, on peut tenir à la main cette tige interposée sans que la décharge passe à travers le corps; car le métal étant meilleur conducteur que le corps humain, l'électricité suit de préférence cette route. C'est sur ce principe que sont fondés les excitateurs sans manches isolants. Pareil effet se reproduit avec les courants induits de l'appareil Ruhm-

korff. Ainsi, si l'on réunit les deux pôles de cet appareil par un fil métallique un peu court, on ne ressentira pas de commotions en touchant ces deux mêmes pôles avec les deux mains. Pour obtenir que le courant se dérive, et par conséquent qu'il exerce ses effets physiologiques, il faut ou augmenter considérablement la résistance du circuit métallique, ou faire en sorte que les contacts des deux dérivations avec le corps s'opèrent par l'intermédiaire de larges plaques conductrices. En opérant de cette manière, on peut graduer à volonté les commotions si violentes de l'appareil de Ruhmkorff, ce que l'on ne pourrait faire au moyen des graduateurs des autres appareils d'induction.

Electrisation par étincelles des courants induits. — Les étincelles d'induction sont beaucoup plus énergiques que les étincelles des machines; et comme elles pourraient être quelquefois dangereuses, si elles n'étaient graduées, M. Ruhmkorff et moi avons eu l'idée d'interposer dans le circuit un tube rempli d'un liquide assez mauvais conducteur, tel que l'alcool, et de régler la résistance du circuit par deux baguettes de Wollaston montées sur des tiges à vis aux deux extrémités du tube. En rapprochant ou en éloignant ces baguettes, par l'intermédiaire de ces vis, on diminue ou on augmente la résistance du circuit, et partant, l'étincelle diminue ou augmente d'intensité.

Pour appliquer convenablement l'étincelle, on fait tenir au malade l'extrémité du rhéophore en rapport avec le pôle intérieur du circuit, et le médecin excite l'étincelle avec l'autre rhéophore à travers lequel il a introduit le régulateur.

On peut, sans régulateur, obtenir des étincelles assez faibles en les provoquant seulement de la part du pôle extérieur du circuit induit. Il suffit alors au médecin d'attacher à ce pôle un des rhéophores et d'en porter la pointe à un ou deux millimètres de la partie du corps que l'on veut élec-

triser, sans que le malade soit en rapport avec l'autre pôle du circuit.

Electrisation par simple courant. — Cette manière d'électriser est celle qui nécessite le plus la graduation de la force du courant. On peut obtenir cette graduation au moyen du graduateur que nous avons décrit précédemment ou du système par dérivation de courant; mais en employant des rhéophores de différente nature, on peut obtenir déjà des affaiblissements ou des renforcements d'action électrique très-caractérisés. Ainsi, en prenant pour rhéophores des fils très-fins et n'appliquant sur la partie malade que leur extrémité, les commotions sont infiniment moins énergiques qu'avec des plaques ou des éponges imbibées d'eau; mais à cause de l'effet calorifique qui peut se manifester au point de contact, il vaudrait mieux employer dans ce cas, pour rhéophores, de petits tubes de gutta-percha à bout effilé et remplis d'eau. Inutile de dire que les rhéophores, soit plaques, soit pointes, soit brosses ou éponges, doivent être appliquées de manière que le courant traverse la partie malade.

Electrisation par courants condensés. — Ce moyen ne peut guère être employé que dans les cas où tous les autres moyens d'électrisation ont échoué, par exemple, dans les asphyxies et les paralysies rebelles; dans ce cas deux rhéophores supplémentaires sont mis en rapport avec les deux armures d'une bouteille de Leyde ou d'une batterie de Leyde, dont la surface varie suivant la force de la pile, et l'on se sert des deux autres rhéophores pour électriser.

Electrisation par le choc en retour. — En interposant sur la partie malade une ou plusieurs lames de verre qui peuvent servir alors de graduateur, on peut, comme nous l'avons vu par les expériences sur la transmission des courants induits à travers les corps isolants, page 388, 1er vol., faire retourner le courant sur lui-même aussitôt après qu'il

a pris naissance. Ce mode d'électrisation n'a pas encore été essayé, mais je crois qu'il doit fournir des résultats particuliers et avantageux dans certaines maladies. Pour l'appliquer il suffit de faire tenir au malade le pôle *intérieur* du circuit et de faire circuler le courant de manière que ce pôle soit négatif; alors le médecin, avec l'autre pôle, excite des étincelles de la part des lames de verres placées sur la partie malade, ou bien il applique simplement sur le verre le rhéophore positif auquel il a attaché une lame métallique, ou une éponge imbibée d'eau, pour rendre l'action plus énergique. Plus les lames de verre, empilées les unes sur les autres, sont en grand nombre, moins l'effet électrique est énergique.

Electrisation par l'extra-courant. — On peut obtenir des contractions musculaires très-énergiques sans être trop douloureuses, en faisant circuler dans le fil de l'appareil de Ruhmkorff le courant d'une pile de Daniell de huit petits éléments disposés en tension. La réaction physiologique ne provient alors que de l'extra-courant, c'est-à-dire de la réaction du courant voltaïque sur lui-même; mais, à cause du parfait isolement du fil, elle ne laisse pas que d'avoir une certaine force.

Pour opérer ce genre d'électrisation, on attache à l'un des pôles de l'appareil de Ruhmkorff un des rhéophores de la pile, on fixe à l'autre pôle de l'appareil d'induction un fil terminé par l'excitateur (plaque, éponge, etc.) que l'on a jugé convenable, et l'autre pôle de la pile communique avec un pareil excitateur. On applique ces deux excitateurs sur la partie désignée du corps du malade et, avec deux bouts de fils métalliques isolés qui sont attachés aux excitateurs eux-mêmes, on opère à la main les interruptions nécessaires pour la production du courant induit.

M. Ducros, dans plusieurs mémoires présentés par lui à l'Académie des sciences, prétend qu'à l'aide de l'électrisa-

tion par induction on peut, 1° retarder la mort dans le cas d'empoisonnement par l'acide arsénieux ; 2° distinguer la mort apparente de la mort réelle ; 3° déterminer chez l'homme et chez les animaux le sommeil et l'insensibilité. Mais la manière dont sont présentées les expériences de ce médecin sentent tellement les tartines du charlatanisme, qu'il est impossible de les prendre complétement au sérieux.

Bain électro-magnétique. — Les effets avantageux qu'on a obtenus de l'application du galvanisme aux bains a fait rechercher le moyen de leur appliquer également l'électricité d'induction avec les commotions dont elle est susceptible. Dans ce but, M. Reynard a disposé un système de baignoire de la manière suivante :

D'abord, la baignoire elle-même doit être en grès, en faïence ou en matière non conductrice quelconque. Sur ses côtés se trouvent fixés deux bouts de cylindres métalliques d'un diamètre assez grand pour qu'on puisse y passer les bras. Le fond de la baignoire se trouve garni d'une plaque de fer à laquelle vient aboutir l'un des pôles d'un appareil électro-médical placé dans le voisinage. L'autre pôle est en rapport avec les deux bouts du cylindre tenant lieu de manipules. Les commotions qui sont alors déterminées sont beaucoup moins excitantes que celles qui résultent des procédés ordinaires et produisent, après qu'elles ont été exercées, un état de torpeur particulier qui provoque le sommeil. C'est donc un moyen à employer pour calmer une surexcitation locale ou pour se remettre d'une grande fatigue.

Accessoires des appareils électro-médicaux. — M. Boulu, qui a employé avec un grand succès l'électricité d'induction pour la guérison des tumeurs lympathiques, vient de compléter les appareils électro-médicaux en leur adjoignant certains accessoires, tels que ventouses électriques, appa-

reils à courants dérivés, sacs électriques, etc., dont il a été à même de reconnaître plus d'une fois l'efficacité.

Ventouse électrique. — Elle a pour but de localiser d'une manière plus certaine l'action des courants électriques, et de la faire pénétrer plus profondément dans l'épaisseur des tissus. On l'applique sur la tumeur qu'il s'agit de résoudre, on fait le vide, et, quand le vide est fait, on met les deux pointes dont elle est armée en communication avec les pôles de l'appareil électro-médical, alors on fait passer le courant. Traités de cette manière, des engorgements, des ganglions lymphatiques, des goîtres et certaines tumeurs des seins, se résolvent de plus en plus chaque jour et disparaissent au bout d'un mois.

Les ventouses électriques se composent d'une petite cloche de verre au fond de laquelle est solidement adapté, dans un manchon en cuivre, un petit corps de pompe destiné à faire le vide sous la cloche; deux tiges, terminées par des plaques granulées, des éponges ou pinceaux métalliques, sont adaptées des deux côtés de ce corps de pompe, et peuvent glisser à travers de petites boîtes à étoupe pour être rapprochées et mises au contact de la tumeur ou de la partie malade qu'il s'agit d'électriser. Il suffit alors de mettre ces deux tiges en rapport avec les deux pôles du courant pour procéder à l'électrisation.

Appareils à courants dérivés. — Quand on fait agir sur un point unique un courant assez intense pour devenir efficace, il détermine des contractions violentes et des douleurs quelquefois insupportables qui désespèrent le malade et lui font prendre le traitement en horreur. Pour remédier à ce grave inconvénient, M. Boulu, à l'aide de bifurcations intelligentes, a partagé le courant principal en un nombre suffisant de courants partiels ou dérivés, qui agissent sur autant de points différents; la quantité d'électricité appliquée est toujours la même, on continue à l'administrer à forte dose,

mais la sensation n'est plus concentrée, et elle devient par là même très-tolérable. Quand on agit sur des organes très-délicats, ou lorsqu'on a à combattre des paralysies graves, la dissémination de l'électricité par l'appareil à courants dérivés est tout à fait indispensable.

Les appareils à courants dérivés de M. Boulu ont été combinés de plusieurs manières, pour être appropriés aux différents cas des maladies auxquelles on peut les appliquer.

Les uns consistent dans des plaques granulées (taillées en pointe de diamant), tantôt en forme de disque ouvert ou de demi-lune, tantôt en forme de disque plein, tantôt composées de deux demi-cercles placés l'un devant l'autre sur un disque d'ivoire, de manière à réunir les deux pôles du courant et à le localiser.

Fig. 9.

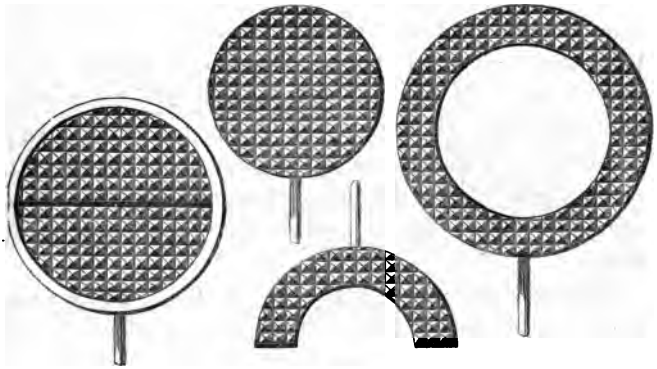


Fig. 8. Fig. 10. Fig 11.

L'avantage de la granulation est de répartir le fluide électrique sur une infinité de points, dans un espace assez rétréci, tel que celui occupé par les tumeurs.

Les plaques à disque ouvert ou en demi-lune, fig. 10 et 11, sont destinées à saisir les ganglions par leur base, à bien les fixer et les circonscrire en même temps.

Une autre série de ces appareils se compose de plaques à pointes longues et mousses de diverses grandeurs, à un ou deux courants, fig. 12 et 13.

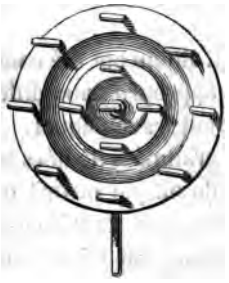


Fig. 12.

Fig 13.

Fig. 14.

Ces plaques, quoique n'opérant pas une aussi grande division de fluide électrique que les précédentes, ont sur elles l'avantage, suivant M. Boulu, d'introduire plus promptement le fluide, et, par ce moyen, d'atteindre d'une manière plus énergique les tumeurs ganglionnaires bien souvent recouvertes d'une couche graisseuse très-épaisse. Ces plaques peuvent être disposées comme les précédentes, et réunir les deux pôles du courant pour concentrer l'électrisation.

D'autres plaques de ce genre, que M. Boulu désigne sous le nom de plaques en tulipe, fig. 14, ont l'avantage de saisir plus immédiatement les ganglions, qui sont fréquemment très-mobiles.

« Nous nous servons encore, dit le docteur Boulu, mais par exception seulement, de plaques plus larges dont le disque, partagé en quatre, reçoit quatre fils produits par la bifurcation des rhéophores, et conduisant ainsi des courants dérivés. Cette division encore plus grande des courants rend l'action du fluide électrique plus supportable aux per-

sonnes d'une nature trop irritable ; c'est encore dans ce cas que nous plaçons tous nos excitateurs secs sur des éponges très-minces, qui ménagent la sensibilité de la peau sans affaiblir la force électrique. »

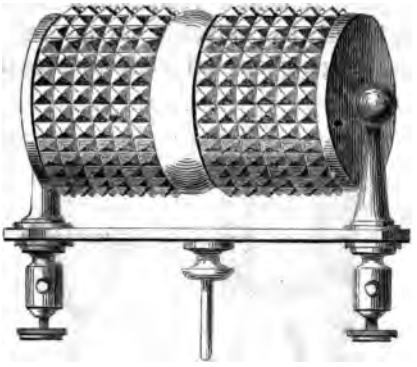


Fig. 15.

Le rouleau granulé à deux pôles, fig. 15, qui n'est autre chose qu'un cylindre métallique granulé coupé en deux par un disque d'ivoire et dont l'axe est mobile entre les deux branches d'une fourchette, est, à ce qu'il paraît, un appareil dont l'avantage est inappréciable pour produire une grande chaleur et fournir une grande dose d'électricité, divisée à l'infini par le roulement continuel et la pression plus ou moins forte qu'il exerce sur les parties malades.

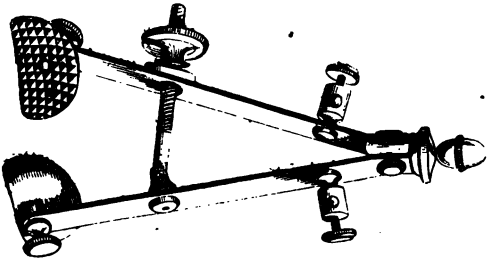


Fig. 16.

La pince à deux pôles, à coquilles de rechange et vis de pression, fig. 16, est encore un appareil employé avec succès par M. Boulu, pour fixer les tumeurs, les comprimer et les dissoudre par l'électricité.

La double molette dentée réunissant les deux pôles du courant, fig. 17, est, au contraire, un appareil à l'aide duquel on divise les ganglions qui composent les tumeurs.

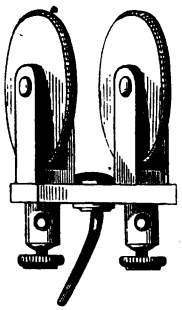


Fig. 17.

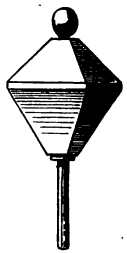


Fig. 18.

Enfin le poinçon en olive, fig. 18, employé en même temps que le disque ouvert granulé, permet de presser fortement le centre de la tumeur, tandis que le disque lui-même agit sur sa circonférence.

Ces quatre derniers instruments, tout en faisant réagir le fluide électrique, permettent, comme on le voit, l'écrasement et la division des tumeurs, ce qui les prédispose à recevoir plus efficacement l'effet électrique.

Eponges électriques. — On se sert depuis longtemps, avec avantage, de petites éponges montées dans des demi-sphères de cuivre, pour agir sur les muscles atrophiés à travers les téguments; mais ces éponges produiraient très-peu d'effet dans le cas d'affections qui ont envahi de larges étendues du corps, telles que les névralgies des membres, de la tête, de la moelle épinière, les lumbagos et les diverses maladies

articulées. Il a donc fallu établir de larges éponges doublées intérieurement de flanelle, munies extérieurement de surfaces métalliques de diverses grandeurs et de diverses formes, et armées de plusieurs boutons où viennent aboutir les fils multiples de l'appareil à courants dérivés. L'expérience a prouvé que ces éponges, rendues humides par un liquide convenablement choisi, conduisent parfaitement les courants et localisent leur action en là répartissant également sur les parties malades, sans secousses et sans grandes douleurs. De nombreuses névralgies de la tête et des membres, et des rhumatismes aigus ont cédé en très-peu de temps à l'action bienfaisante des éponges électrisées. (Voir fig. 19.)

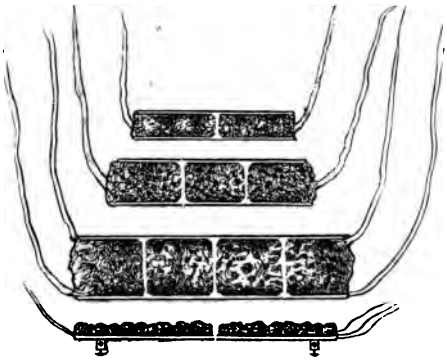


Fig. 19.

Sac électrique. — C'est une sorte de vêtement de laine sillonné par des bandes circulaires en tissus métalliques, dans lequel on place le malade quand il s'agit de répandre à profusion le fluide électrique sur la totalité du corps humain. Tout autour du sac on a fixé, sur le tissu métallique, des boutons auxquels aboutissent les fils conducteurs des courants dérivés; quand tout est prêt, on fait fonctionner

l'appareil médical au maximum de sa force, et le malade est comme plongé dans un bain de fluide électrique qui agit à la fois sur tous les nerfs, les muscles et les tendons. Cette action générale peut rendre de très-grands services lorsque l'organisme entier est atteint, comme dans le choléra, l'asphyxie par immersion ou strangulation, la suspension de la vie par l'action trop énergique des agents anesthésiques, etc., etc. (Voir fig. 20.)

Fig. 20.

En outre du sac qui revêt le corps entier, M. Boulu a fait établir des enveloppes pareilles pour chacun des membres, la tête, les bras, les jambes, les doigts, des bonnets, des manches, des bas, des gants électriques. Habilement construits par MM. Breton frères, ces divers appareils, déjà soumis à un grand nombre d'essais, ont parfaitement fonctionné.

M. Boulu a encore imaginé d'autres appareils électriques,

tels qu'un scarificateur et un broyeur électrique; mais je ne connais pas assez ces instruments pour en parler.

Je n'entrerai pas dans le détail du mode d'application des différents appareils que nous venons d'étudier, suivant les maladies; c'est une question toute médicale qui se trouve traitée pratiquement dans l'ouvrage de M. Duchenne et celui de M. Guitard; je dirai seulement que l'une des applications les plus importantes de l'électricité d'induction a été son emploi comme antidote des effets dangereux du chloroforme. Ainsi nous voyons, d'après les expériences de MM. Wartmann, Duchemin, Jobert, de Lamballe, Abeille et Ducros, que l'électrisation a pu rappeler la vie prête à s'échapper dans des personnes trop éthérisées.

Voici, du reste, les différents cas de guérison que M. Guitard cite dans son ouvrage[1] :

Paralysie (hémiplégie, paraplégie, etc.), 47 cas de guérison.

Amaurose, 6 cas de guérison ou tout au moins de soulagement.

Hernie, 2 cas id.

Épilepsie, 1 cas id.

1. Voici un nouveau genre d'application électro-médicale que nous trouvons relatée dans le *Cosmos* du 11 août 1854 :

« La nécessité de trouver un succédané au quinquina, qui devient chaque jour plus rare et plus cher, doit faire accueillir toutes les tentatives qui ont pour but de le remplacer. Plusieurs auteurs avaient, comme nous l'avons déjà dit, proposé l'emploi de l'électricité dans les fièvres périodiques. Lindult, en 1753, l'avait même déjà employé ; M. Dérossi a repris ces essais avec succès en se servant de la pile de Volta, ou d'un appareil électro-magnétique. Quatre ou six malades sont disposés de manière à former la chaîne que le courant interrompu traverse. Les séances sont d'une demi-heure, trois fois par jour. Deux soldats ont été guéris, l'un d'une fièvre tierce simple, l'autre d'une fièvre double tierce, après avoir été soumis aux commotions électriques, le premier six fois pendant 15 minutes chaque fois, le second 15 fois en trois jours.

Hydropisie, 1 cas id.
Rage, 3 cas id.
Léthargie, 2 cas id.
Névralgie, 8 cas id.
Tétanos, 1 cas id.
Mutité, 1 cas id.
Catalepsie, 1 cas id.
Hoquet, 2 cas.
Aphonie, 1 cas id.
Inertie utérine, 5 cas id.
Anévrisme, 26 cas id.
Hémorragie dans les accouchements, 30 cas id.
Varices, 2 cas id.
Gonflements articulaires, 1 cas id.
Douleurs, 2 cas id.
Squirre, 1 cas id.
Engorgements strumeux, 1 cas id.
Hypertrophie du foie et de la rate, 1 cas id.
Aménorrhée, 1 cas id.
Albugo, 1 cas id.
Angine de poitrine, 3 cas id.
Fungus hématode, 1 cas id.
Gastralgie, 1 cas id.
Sciatique, 3 cas id.
Chorée, 2 cas id.
Surdité, 1 cas id.

Comme on le voit, c'est la paralysie et ses annexes qui se sont le mieux trouvés du traitement électro-médical. Cependant, d'après M. le docteur Golding-Bird, ce traitement ne serait efficace, pour cette maladie, que sous certaines conditions. Ainsi, quand la paralysie est récente et que la cause agit encore, l'électrisation peut faire souvent beaucoup de mal, surtout si les artères sont ossifiés et s'il y a un com-

mencement de ramollissement cérébral. Mais, si la paralysie reconnaît une cause physique, et que cette cause physique ait cessé, l'électricité peut être très-efficace. Ces cas sont les plus communs; alors le traitement ne saurait être mis trop tôt en usage. Il n'y a rien à attendre de l'électricité dans les paralysies avec contractures des doigts ou des joues.

Il en est de même pour l'amaurose. D'après M. Magendie, celle qui résulte de l'altération du nerf optique est à peu près inguérissable, tandis que celle qui provient d'une altération des branches ophthalmiques de la cinquième paire peut être traitée avec avantage par l'électricité.

Pour les anévrismes, l'électrisation est, d'après M. Velpeau, souvent dangereuse. Elle ne doit être employée que si l'anévrisme est récent, latéral, superficiel, peu volumineux et sans maladie antérieure du tissu artériel. Suivant M. Petrequin, des trois actions que possède la pile : 1° l'action électrique qui ébranle le système nerveux cérébro-spinal, 2° l'action calorifère produisant l'ustion des tissus, 3° l'action décomposante, c'est la dernière qui doit être augmentée le plus possible aux dépens des autres; c'est-à-dire qu'il faut employer pour les anévrismes un courant continu provenant d'une pile voltaïque dont les éléments soient de petite dimension, mais en certain nombre.

Du reste, le traitement de cette maladie est sujet à certaines anomalies qui proviennent principalement du mode d'application des pôles de la pile et contre lesquelles on doit se prémunir; ainsi, il paraît qu'on peut opérer à volonté la coagulation du sang ou sa dilution, suivant qu'on fait réagir sur le sang d'une artère le pôle positif ou le pôle négatif de la pile.

L'électrisation, dans les accidents chloroformiques, n'a d'effet que quand le cœur éprouve encore des contractions, si inappréciables qu'elles soient. Alors il réveille le système nerveux, renouvelle ses fonctions et rappelle les contrac-

tions musculaires. « Mais, lorsque les contractions du cœur, « dit M. Jobert de Lamballe, ne sont plus qu'une irritabi- « lité musculaire, lorsque les muscles de la glotte ont cessé « leur action, l'électricité ne produit que des contractions « irrégulières : la vie est éteinte, et l'électricité est impuis- « sante à la ranimer. »

Pour les accouchements, l'électricité, comme on a pu le voir dans le tableau précédent, a produit des effets merveilleux, tant pour l'inertie de l'utérus que pour les hémorragies subséquentes ou les métrorragies. Le meilleur système à employer est l'application des pôles de la pile, ou plutôt de l'appareil électro-médical, l'un sur l'abdomen, l'autre dans le vagin ou sur le sacrum.

Pour exciter les nerfs auditifs, on peut s'y prendre de deux manières, soit en adaptant à l'un des conducteurs du courant un excitateur en forme de boule et en l'introduisant dans le canal auditif; soit en faisant disposer horizontalement la tête du malade et en remplissant d'eau salée le canal auditif; alors une petite plaque métallique plongeant dans ce liquide, établit la communication électrique qui se trouve complétée par l'application d'une autre plaque sur une partie voisine de l'oreille. M. Dumoutier a obtenu de ce système d'électrisation d'excellents effets, et il est parvenu à guérir complétement un cas de surdité très-rebelle. L'effet de ce genre d'électrisation sur le malade est un bourdonnement plus ou moins fort qui se fait entendre tout le temps que circule le courant.

Pour le traitement du tétanos on doit avoir recours à des courants continus. Leur effet est tellement immédiat que M. Matteucci ayant soumis à ce traitement un homme atteint du tétanos à la suite d'un coup de feu, fit disparaître complétement les accidents pendant toute la durée du passage du courant dans la moelle épinière. Il est vrai que le malade ne fut pas guéri pour cela.

D'après M. Le Roy d'Étioles, un courant électrique peut être utile pour ranimer les battements du cœur. Voici comment cet habile praticien propose d'opérer.

Il enfonce entre la huitième et la neuvième côte sur les parties latérales du corps une aiguille courte et fine jusqu'à ce qu'elle rencontre les attaches du diaphragme. Il établit alors un courant issu d'une pile de 25 à 30 couples d'un pouce de diamètre; aussitôt après le diaphragme se contracte et il se fait une inspiration; on interrompt le circuit pendant que l'expiration a lieu, et on le rétablit ensuite pour exciter une seconde inspiration. On recommence cette pratique pendant un temps plus ou moins long, une demi-heure, une heure et même plus. Ce moyen serait particulièrement applicable pour ranimer les asphyxiés.

M. Sedillot est parvenu à guérir un cas de mutité accidentelle accompagnée d'aphonies provenant d'une paralysie des principaux muscles de la langue étendue à l'appareil laryngé, en appliquant l'un des rhéophores d'un appareil d'induction successivement en des points différents de la langue, et en promenant le second sur l'apophyse mastoïde, la partie supérieure et postérieure du cou et sur différents points de la face.

L'électricité a été encore employée avec succès par M. le docteur Becquerel, pour rétablir la sécrétion du lait chez les femmes. Pour obtenir ce résultat, cet habile médecin s'est servi des courants d'induction appliqués en différents points de la circonférence des seins, au moyen d'excitateurs humides. En trois séances, de quinze minutes chacune, une jeune femme de vingt-sept ans, dont le lait était complétement tari, fut mise en état de nourrir son enfant.

Je n'insiste pas davantage sur cette question si importante pourtant des applications de l'électricité, car je m'écarterais considérablement du but que je me suis proposé. Je terminerai en signalant, à titre d'idée excentrique, les

plumes galvaniques que l'inventeur prétend souveraines pour *prévenir les maladies*. Voici ce que nous trouvons à ce sujet dans le *Cosmos* du 21 avril 1854.

Plumes électro-galvaniques. — Nous lisions, il y a quelques jours, dans le *Scientific american journal*, l'annonce que voici : « M. Alexander, de Birmingham, ingénieur, a pris récemment une patente pour une invention qui a pour objet : 1° de magnétiser les plumes métalliques, ou de les placer sous l'influence d'un courant pour diminuer leur tendance à l'oxydation et à la corrosion ; 2° de former le porte-plume de deux métaux aptes à produire un courant voltaïque assez intense avec l'aide du contact des doigts toujours un peu humides, de telle sorte que ce courant, en circulant dans la main et le corps de la personne qui écrit, produise des effets hygiéniques et thérapeutiques. » Les porte-plumes de M. Alexander, qui jouissent d'une grande vogue en Angleterre, en Belgique et en Hollande, dont la réputation, on le voit, a déjà franchi l'Océan, avaient fait, il y a quelques jours, leur apparition à Paris ; on nous en avait apporté un comme un talisman précieux. Ils ont aujourd'hui sauté d'un seul bond sur le bureau de l'Académie des Sciences, et au beau milieu de la correspondance, nous avons entendu M. Élie de Beaumont lire la note suivante :

« MM. Alexander, de Birmingham et Simon Gaffré, de Paris, soumettent à l'examen de l'Académie un porte-plume galvano-électrique, dont la tige porte des fils soudés de cuivre et de zinc, formant une petite pile voltaïque. Cette pile, qui exerce une action sensible sur le galvanomètre, est destinée à produire un effet salutaire sur les nerfs de l'écrivain qui l'emploie. Ainsi que dans l'homœopathie, la grandeur des effets que l'on annonce avoir obtenus par ce courant électrique très-faible, tant en Angleterre qu'en Allemagne, ne paraît pas en rapport avec la petitesse de l'agent physique ; mais l'inventeur, comme le médecin homœopa-

che, a, sans aucun doute, compté sur l'imagination comme sur un puissant auxiliaire, que les empyristes de l'Orient savent admirablement mettre en jeu au grand bien de leurs malades. » Le porte-plume électro-magnétique est renvoyé à l'examen de deux physiciens célèbres : MM. Despretz et Babinet.

Reproduction des expressions diverses de la figure humaine au moyen des réactions électro-physiologiques. — En faisant contracter électriquement tels ou tels muscles de la face et combinant ensemble ces contractions, M. Duchenne est parvenu à reproduire à volonté toutes les expressions de la physionomie humaine et à les maintenir un temps suffisant pour pouvoir les fixer sur le papier au moyen de la photographie. La collection de ces expressions, que M. Duchenne va publier incessamment, est excessivement curieuse, non-seulement au point de vue scientifique, mais encore sous celui de l'art. En effet, par l'inspection de ces différents types, un peintre saura quels muscles il devra faire contracter pour produire telle expression de physionomie qu'il aura à rendre, et les formes prises alors par ces muscles contractés lui seront nettement indiquées.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR

L'AVENIR DES APPLICATIONS ÉLECTRIQUES

ET

SUR LES SERVICES QU'ELLES ONT DÉJÀ RENDUS

Si après avoir jeté un coup d'œil rétrospectif sur l'ensemble des applications électriques, que nous venons d'étudier, on se demande quelles sont celles d'entre elles qui ont passé jusqu'à présent dans le domaine de la pratique, on est réellement tout étonné de leur petit nombre, surtout quand on considère les avantages réels et matériels que fournissent beaucoup d'entre elles. Sans doute ces inventions sont de fraîche date et sont encore à peine connues; mais je crois que le peu d'empressement que l'on a mis jusqu'à présent à les adopter tient à plusieurs causes qu'il ne sera pas sans intérêt de signaler et de discuter. *Un mal reconnu provoque le remède.*

Je ne parlerai pas de l'esprit de routine qui, comme je l'ai déjà dit, s'oppose particulièrement en France au développement des inventions nouvelles. C'est un mal contre lequel il ne nous est pas donné de lutter et qui est commun à tous les progrès quelconques, qu'ils soient agricoles ou industriels, scientifiques ou artistiques, et c'est ce qui fait que jamais les inventeurs ne bénéficient de leurs découvertes; mais dans les applications électriques, plusieurs circonstances particulières font actuellement obstacle à leur développement. Ces circonstances particulières tien-

nent à l'intervention d'un élément nouveau (l'électricité) avec lequel peu de personnes encore sont familiarisées et qu'il faut une certaine habitude pour manier avec facilité. Il est évident que ce n'est qu'avec le temps que cette habitude pourra être acquise et être assez répandue dans le public pour que les applications dont nous avons parlé puissent réellement se populariser; il en a été ainsi de toutes les découvertes fondées sur l'intervention des agents physiques.

Si dans les applications électriques on n'avait pas une pile à entretenir, des ruptures de circuit et des déperditions de courant à éviter, mille caprices de l'électricité contre lesquels il faut se prémunir, bon nombre des applications en question seraient déjà mises en pratique, car elles fournissent des ressources que tuls autres moyens ne sauraient présenter. Mais par suite de l'ignorance dans laquelle on est généralement de la manière de conduire la marche d'un instrument électrique, on préfère ne pas les employer du tout.

D'un autre côté, il ne faut pas se dissimuler que l'importance de ces applications électriques est tout à fait relative; ainsi telle application qui peut être avantageuse quand on a déjà une installation électrique établie, perd une grande partie de son importance et même souvent toute sa valeur si elle nécessite à *elle seule* cette installation. Il faut donc autant que possible, quand on installe quelques appareils électriques, profiter de la pile que l'on a à sa disposition pour l'utiliser à d'autres applications.

Ce qui nuit encore beaucoup au développement des applications électriques, c'est le charlatanisme de certains inventeurs qui prétendent faire l'impossible. En général, les gens de bon sens se méfient du merveilleux, de sorte qu'à force de vouloir trop prouver on ne prouve rien et l'on ne réussit qu'à éveiller la défiance publique. C'est

donc avec regret que je vois certains journaux bien posés pourtant dans l'opinion publique, faire l'apologie de certaines inventions plus ou moins baroques, d'expériences qui ne prouvent absolument rien et qui souvent même n'ont jamais existé. Ils croient en agissant ainsi contribuer aux progrès des sciences appliquées, et ils les reculent; ils croient mettre en honneur des hommes de mérite et souvent ils n'élèvent de piédestal qu'à des spéculateurs. Une première fois on peut être pris à ces annonces pompeuses, mais quand la vérité vient à se faire jour, on devient incrédule et on enveloppe toutes les autres inventions du même genre dans la même défiance.

Si la prévention des personnes qui ne comprennent pas la science est nuisible au développement des applications électriques, la défiance exagérée de certains autres qui la comprennent est au moins aussi nuisible. Souvent cette défiance tient à des motifs d'animosité personnels auxquels nous ne nous arrêterons pas parce qu'ils ne sont pas raisonnés; mais il faut le dire aussi, cette défiance peut être réellement motivée. Dans ce cas, il est imprudent de rejeter à première vue une invention, à moins qu'on n'ait pu constater en elle quelque vice capital que ne peuvent faire disparaître des perfectionnements ultérieurs. En effet, il arrive souvent, et je pourrais en citer de nombreux exemples, qu'une application qui n'est pas réalisable dans telles ou telles conditions ou dans l'état actuel de la science, peut le devenir par suite de découvertes nouvelles ou par l'habitude qu'on aura contractée des moyens électriques quand ces sortes d'applications seront plus répandues; d'ailleurs, il arrive souvent qu'une foule de combinaisons physiques et mécaniques employées dans des appareils qui ne sont pas susceptibles d'une application immédiate, peuvent être d'un grand secours dans beaucoup d'autres applications où elles figurent avec plus d'avantages.

En définitive, nous croyons que les hommes de science doivent être aussi circonspects dans leurs jugements que sévères contre les envahissements du charlatanisme.

Nous avons vu dans les différents chapitres dans lesquels nous avons divisé cet ouvrage, les diverses applications auxquelles on pouvait utiliser la télégraphie électrique ainsi que les nombreux et importants services qu'elle a déjà rendus à l'humanité.

Aucune découverte, si l'on en excepte l'imprimerie et l'application de la vapeur aux chemins de fer et à la navigation, n'est intervenue plus profondément dans les relations des peuples et n'a répandu plus de gloire sur un siècle au point de vue des conquêtes de la civilisation.

Chaque jour les applications de ce merveilleux moyen de communication prennent une nouvelle extension, et avant peu il n'y aura pas d'établissements publics ou privés qui n'aient un télégraphe.

Depuis 12 ans à peine que la télégraphie électrique a été introduite en France, tous les pays civilisés des deux mondes se sont couverts de réseaux télégraphiques. Non-seulement, toutes les capitales d'Europe sont en rapport électrique les unes avec les autres, mais il n'est plus de préfectures en France et de capitales de province dans les autres pays qui ne soient reliées directement ou indirectement à cet immense réseau. Le développement de ces lignes télégraphiques serait bien plus important encore si les gouvernements, dans un but qu'il est facile d'expliquer, n'en empêchaient l'établissement dans les villes au compte des particuliers ou d'institutions qui pourraient en faire un mauvais usage.

Nous ne saurions trop approuver en cela la prudence du gouvernement; mais il est certains cas, ce nous semble, qui pourraient faire exception. Ainsi, pour le service des sapeurs-pompiers, en cas d'incendie, dans les villes de province, l'établissement d'un petit réseau télégraphique

serait d'utilité publique et ne pourrait servir les mauvaises passions puisque ce réseau serait entre les mains de personnes appartenant au gouvernement.

Malgré le mauvais vouloir et l'insouciance des compagnies de chemins de fer, il est probable que d'ici à quelques années les moyens de sécurité, dont nous avons parlé dans notre deuxième volume, seront employés surtout si le gouvernement frappe les compagnies, comme il en est question, de grosses amendes en cas d'accidents. Mais, chose curieuse et qui ne manquera pas d'arriver, les journaux donneront alors ces moyens comme une nouveauté, et bien entendu les noms des véritables inventeurs seront oubliés.

Nous avons déjà dit ce que nous pensions des horloges électriques et de leur importance. Cette application est déjà réalisée dans plusieurs villes ; ce n'est donc qu'une question de temps pour qu'elle soit adoptée définitivement.

Quant aux applications de l'électricité aux observations scientifiques et de précision, la plupart d'entre elles sont journellement utilisées; les chronographes, non-seulement sont employés pour les études de la balistique et de l'artillerie, mais encore pour la détermination des différences de longitude, pour les observations astronomiques et pour l'enregistrement de la vitesse des moteurs. Les anémographes électriques sont installés dans plusieurs observatoires d'Europe, ainsi que plusieurs autres instruments électriques de météorologie, et il est probable que d'ici à peu de temps tous les appareils que nous avons décrits feront partie des cabinets de physique bien organisés.

Parmi les applications industrielles et économiques de l'électricité, les sonneries électriques sont celles qui sont les plus répandues; tous les jours cette branche d'industrie fait de nouveaux progrès, et leur application aux arts en fait un des appareils les plus utiles de la science moderne.

Toutefois, nous croyons que le véritable avenir de ces sonneries, employées comme sonnettes, est dans leur application aux établissements publics et industriels, aux bureaux des administrations de l'État, aux auberges, aux anciens châteaux dans lesquels l'épaisseur des murs empêche la pose des sonnettes ordinaires, etc., etc. Hier encore, un préfet de notre connaissance, qui les a dernièrement fait installer à sa préfecture, nous disait avec enthousiasme combien ce système lui était commode, puisque, sans se déranger de son bureau, il pouvait, en pressant tel ou tel bouton placé sur une planchette à côté de son encrier, faire venir tel ou tel chef de bureau qui lui convenait. Employées pour la garde des appartements ou des maisons, ou pour la surveillance des prisons d'État, ce système de sonnerie présente des avantages qui ne pourraient être remplacés par aucun autre moyen. Enfin, leur application pour préserver les navires des ensablements ou pour avertir, sous l'influence de l'horloge elle-même, de l'heure de la reprise et de la cessation du travail, peut les rendre d'une utilité journalière.

L'électro-trieuse de M. Chenot a déjà rendu et rendra de grands services, si les avantages qui nous sont annoncés sont parfaitement exacts. Il résulterait en effet de l'emploi de cette machine une élimination, en moyenne, de 20 à 40 pour cent de matières étrangères à la fabrication du fer qu'il eût fallu chauffer exactement comme si elles eussent été du minerai pur, et qui auraient entraîné une augmentation considérable de combustible. Cet appareil joue un rôle non moins important dans le traitement des minerais de zinc ou de cuivre en permettant d'enlever le fer, ce qui dispense avec avantage de recourir aux différents lavages et aux tables à schliquer.

Le régulateur automatique de la température est déjà employé à Buenos-Ayres pour les minoteries, et doit l'être

prochainement dans les magnaneries et les serres chaudes; peut-être son usage s'étendra-t-il dans les habitations pour le chauffage égal des appartements. C'est évidemment un appareil qui doit avoir de l'avenir.

Nous croyons qu'il devra en être de même du mesureur électrique à distance, qui permettra aux inspecteurs des eaux des villes de juger de l'état d'approvisionnement des réservoirs d'eau, et d'en suivre journellement la dépense, heure par heure, minute par minute, sans nécessiter des frais d'installation considérables.

Il nous est impossible de croire que les musiciens-compositeurs, quand ils sauront qu'ils peuvent conserver les traces de leurs improvisations sans embarrasser en quoi que ce soit leur piano, ne s'empresseront pas de recourir à l'enregistreur électrique des improvisations musicales, que nous avons décrit page 117 (3e vol.), d'autant plus que ces indications peuvent n'être fournies qu'au moment où ils se sentiront inspirés et ne leur coûteront pas même un dérangement.

Quant à la lumière électrique, nous avons vu qu'elle ne pouvait convenir à l'éclairage public ni privé; mais, qu'en revanche, on pouvait l'employer dans les opérations militaires, à l'éclairage des phares, et des travaux sous-marins, à la navigation, aux représentations théâtrales, etc.

Depuis l'application journalière qu'on fait de l'électricité au tirage des mines, dans les ports de Cherbourg et de Marseille, il est impossible de nier les avantages immenses que présente ce système d'inflammation; c'est évidemment une application qui prendra de jour en jour une nouvelle extension, non-seulement dans les travaux civils, mais encore dans les travaux militaires.

Enfin la dernière application que vient de faire M. Trêve de l'illumination électrique des signaux télégraphiques de

nuit, à bord des navires, sera évidemment adoptée avant peu dans toute la marine.

Je ne parlerai pas de l'avenir des applications médicales de l'électricité, il faudrait être médecin pour traiter de haut cette question; mais les résultats avantageux qu'on a obtenus font présumer que le maniement de ce nouvel agent thérapeutique sera un sujet d'études qui fera désormais partie de l'instruction médicale de tous les nouveaux médecins.

APPENDICES

APPENDICES AU CHAPITRE Ier (2e VOLUME) SUR LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

Télégraphe imprimeur de M. Breguet. — Nous avons dit, page 141, 2e vol., que M. Breguet avait dernièrement construit un télégraphe imprimeur qui fonctionnait d'une manière très - satisfaisante, mais qu'il nous était impossible de le faire connaître, les droits de propriété de l'inventeur n'étant pas encore établis. Aujourd'hui, M. Breguet le décrit lui-même en ces termes :

« Depuis bien des années, on a fait des télégraphes imprimeurs, mais tous sont restés dans le fond des cabinets des artistes qui les ont combinés ; ils étaient trop compliqués pour devenir pratiques. Je me suis aussi permis de faire le mien ; c'est en 1847 que je l'ai composé. Je voulais imprimer avec le manipulateur si simple que j'ai fait pour les chemins de fer et qui est employé sur tout le réseau français. Mais comme je ne le trouvai pas encore pratique, je ne conseillai à personne de le prendre ; je me contentai de le faire voir à bien des personnes, parmi lesquelles sont des inspecteurs des lignes télégraphiques. J'ai les deux instruments que j'avais faits à cette époque, l'un pour les lettres, l'autre pour les signaux Chappe. Pour me servir de l'un et de l'autre, il me fallait faire usage de manipulateurs dont la roue à gorge sinueuse avait vingt-six ondulations

pour le télégraphe à lettres et huit ondulations pour celui à signaux.

« Pour ce télégraphe, j'avais appliqué, sous une autre forme, le principe dont un de mes amis, M. Siemens, de Berlin, avait fait usage dans son télégraphe imprimant, c'est-à-dire que je tirais parti du temps qu'il faut au courant pour aimanter un cylindre de fer doux, afin d'obtenir une force suffisante pour faire mouvoir un marteau. Pendant le mouvement que l'on faisait faire à la manivelle en allant d'une lettre à une autre, un levier, mû par l'échappement, établissait le courant de l'aimant du marteau dans un temps trop court pour y développer l'aimantation nécessaire; mais au moment où l'on s'arrêtait pour indiquer une lettre, ce temps d'arrêt suffisait pour donner à l'aimant la force nécessaire pour faire frapper le marteau de l'imprimerie.

« Cet arrangement allait assez bien avec de l'attention, mais il n'était pas pratique.

« Cela resta ainsi presque dix ans dans le repos, quand il y a quelque temps il me vint à l'idée, non pas d'établir le courant de l'imprimeur à chaque lettre pendant un temps très-court, mais bien au contraire de ne l'établir qu'au moment où cela est nécessaire.

« Pour cela je reportai l'application de ce phénomène à l'électro-aimant du récepteur, et voici de quelle manière je m'y suis pris :

« Dans tous mes télégraphes il y a un échappement, dans lequel l'armature (que nous appelons palette), attirée successivement par l'électro-aimant, fait l'office du balancier dans une horloge. Cette palette est limitée dans ses oscillations par deux vis dites de réglage; contre ces vis vient battre un bras faisant corps avec la palette.

« Sur le côté de ce bras qui vient appuyer contre une des vis, quand la palette est attirée par l'aimant, je place un ressort qui, dans ce cas, vient presser sur la vis.

« A l'extrémité de ce bras est un autre ressort qui peut venir toucher à une vis, quand le premier fléchit sous la force de l'aimantation.

« Ce nouveau ressort, ainsi que la vis, sont chacun le pôle d'une pile dont le courant passe autour de l'électro-aimant de l'imprimeur. Cet électro-aimant est actif, du moment où ces deux pièces viennent à se mettre en contact.

« En transmettant des signaux à raison de 35 par minute, lorsque l'on va d'une lettre à une nouvelle lettre, le courant passe autour de l'aimant en 0",07, et au moment où l'on s'arrête sur la lettre que l'on veut expédier, il passe pendant 0",40, à peu près, cinq fois plus de temps. Eh bien, dans ce dernier cas, cela suffit pour que l'aimantation fasse fléchir le ressort du réglage, et permette à l'autre ressort d'établir le courant de la pile de l'imprimeur.

« On voit que dans cet arrangement le courant nécessaire à l'impression ne s'établit qu'au moment opportun.

« Le manipulateur est le même que celui dont je fis d'abord usage dans mes premiers télégraphes, où je faisais faire deux oscillations à la palette pour chaque dent de la roue d'échappement qui avait alors vingt-six dents, comme on le fait pour les télégraphes électro-magnétiques, parce que le courant ne persiste pas. Mais je vis bientôt qu'avec la pile je pouvais gagner de la vitesse, en ne mettant que la moitié des dents à la roue d'échappement; je me servis alors de l'établissement du courant pour un signal, et de son interruption pour un second signal, ce qui me fit mettre ainsi les roues de mes manipulateurs à treize interruptions et treize contacts. Mais ici, pour l'impression, je suis obligé, pour plus de sûreté, de doubler et ma roue d'échappement et ma roue de manipulateur; mais il n'y a que cela, pas un levier de plus, pas une vis de plus; c'est même exactement le manipulateur en usage. »

Télégraphes imprimeurs à signaux Chappe. — Bien que

l'urgence de l'emploi de ces sortes de télégraphes n'ait pas été assez bien constatée pour les faire adopter, nous croyons intéressant de rappeler ici en quelques mots le principe de leur construction. Nous avons vu précédemment que M. Breguet en avait construit un de ce genre il y a quelques années.

Si les huit positions de chaque aiguille des anciens télégraphes du gouvernement français sont gravées en relief (chacune en particulier) sur huit aiguilles mobiles, on pourra faire en sorte par la manière dont seront disposés entre eux les appareils transmetteurs et récepteurs de faire arriver devant un point de repère fixe celle de ces aiguilles qui portera le signe transmis. Supposons donc que ce point de repère se trouve précisément au point de tangence des circonférences décrites par les deux systèmes d'aiguilles, et admettons que là précisément se trouve disposée en relief une barre placée dans le sens de la ligne qui joint les centres de ces deux systèmes, on concevra que les signes, en arrivant au point de repère des deux côtés de cette traverse, dessineront le signe télégraphique. Pour l'imprimer, il ne s'agira donc que de faire passer une bande de papier au-dessus et de la presser contre les reliefs, soit par l'intermédiaire d'un excentrique mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie détendu à temps et relevé ensuite par ce mouvement d'horlogerie. Cette partie du mécanisme peut être combinée comme celle des mécanismes imprimeurs que nous avons déjà étudiés. Dans tous les cas, il faut que cette action mécanique soit suivie ou précédée d'une réaction sur les cylindres qui portent la bande de papier, de manière à le faire avancer d'une distance suffisante, pour que les signes ne se superposent pas.

Télégraphe imprimeur de MM. Digney frères. — « Le système de télégraphe-imprimeur, inventé par les frères Digney, dit le *Cosmos*, s'applique principalement et

sans complication apparente aux télégraphes récepteurs et manipulateurs à cadran, de sorte qu'il devient possible d'obtenir des dépêches tout imprimées sans changer d'une manière sensible les appareils actuellement en usage, ni leur mode d'action, c'est-à-dire, chose bonne à remarquer pour les administrations des chemins de fer, que les employés pourront, sans nouvelle étude, faire fonctionner le manipulateur de la même manière qu'ils le font maintenant.

« En principe, ce résultat a été fort simplement obtenu d'abord, en ajoutant à l'appareil récepteur un second électro-aimant, ou en remplaçant la palette de l'échappement en fer doux par un aimant artificiel, substitution qui assure d'une manière efficace l'exactitude de l'impression; puis en fixant sur le prolongement de l'axe de la roue d'échappement un disque muni de lettres en relief sur sa circonférence. Une bande de papier, qui passe tangentiellement à ce disque, reçoit la dépêche imprimée, et un levier, qui fait corps avec la palette de l'électro-aimant supplémentaire, produit en temps opportun la pression nécessaire à l'impression.

« Quelques mots d'explication suffiront pour bien faire comprendre le mécanisme du nouveau système et le principe qui lui sert de base.

« Commençons par l'appareil récepteur ou imprimeur :

« Un disque placé sous le prolongement de l'axe de la roue d'échappement, actionné, comme on sait, par un mouvement d'horlogerie, est muni sur sa circonférence de lettres en relief. Au-dessus de ce disque se trouve un tampon adapté à l'extrémité d'un levier qui fait corps avec la palette de l'aimant supplémentaire, monté sur deux pointes, et rappelé par un ressort quand l'attraction de cet électro-aimant supplémentaire cesse. Ce même levier, muni du tampon, fait agir à la fois un pied de biche et un rochet ; le premier, muni à son extrémité d'un petit ressort qui lui

permet de céder en remontant, fait tourner en descendant la roue à rochet fixée sur l'axe d'un premier cylindre au-dessus duquel s'en trouve un second, retenu en pression à l'aide d'un contre-poids, de façon que la bande de papier sans fin, que nous avons signalée plus haut, enroulée sur une ensouple, puisse être entraînée par la rotation du cylindre inférieur entre lui et le cylindre supérieur. Un petit tampon chargé d'encre appuie sur les lettres et y dépose la quantité nécessaire à l'impression ; quant à l'ensemble de ce petit mécanisme imprimeur, il est fixé sur l'une des plaques de l'appareil.

« Si nous passons maintenant au principe même du nouveau télégraphe imprimeur, nous dirons que ce qui permet de l'appliquer aux récepteurs ordinaires : c'est d'abord l'idée, puis les dispositions toutes particulières d'un manipulateur inverseur, c'est-à-dire d'un manipulateur établissant la communication du courant qui, pour produire le double résultat de l'envoi et de l'impression doit être renversé.

« Cette inversion des courants a été obtenue par une nouvelle disposition des leviers qui, oscillant sur leur centre respectif, établissent, pour un tour de disque, 26 fois une certaine direction dans la marche du courant, et changent 26 fois cette même direction, selon que la manivelle du manipulateur a été ou n'a pas été engagée dans le cran du diviseur.

« Le manipulateur, en effet, point assez important dans ce nouveau système, a été légèrement modifié, et ces dispositions toutes particulières donnent le résultat le plus certain. Son disque à roue à gorges sinueuses est divisé en 26 parties, c'est-à-dire en un nombre égal à celui des lettres de l'alphabet, au lieu que, dans les manipulateurs ordinaires, ce nombre est moitié moins considérable. Cette nouvelle combinaison amène nécessairement un petit changement dans la roue d'échappement de l'appareil récep-

teur : il consiste dans un double déclanchement, c'est-à-dire qu'il faut, pour produire une lettre, que la roue d'échappement passe d'une dent, et, pour faire passer d'une dent qui corresponde à une lettre gravée sur la circonférence du disque, il faut qu'il y ait production et cessation du courant, résultat de beaucoup supérieur à celui qu'on pourrait obtenir avec les appareils ordinaires où le passage du courant produit une lettre et son interruption encore une lettre.

« On peut cependant obtenir ce même résultat à l'aide de cet appareil à double division, en remplaçant simplement les palettes en acier par des palettes en fer doux, sans opérer d'autre changement dans l'appareil; le manipulateur transmet alors directement, et sans avoir recours au principe de l'inversion, les courants électriques qui aimantent les palettes en fer doux par l'action de son passage dans les électro-aimants; mais cette dernière modification tend bien plutôt à simplifier le mécanisme des deux appareils qu'à assurer l'exactitude et la régularité de leur fonction. »

Ce télégraphe, comme on le voit, a une grande analogie avec celui que nous avons décrit page 130, 2e vol., et qui a été pour moi l'objet d'une récompense élevée (une médaille d'or) à l'Exposition de l'Association normande de 1855. Du reste, depuis quelques années les télégraphes imprimeurs pleuvent de toutes parts, et chaque inventeur croit avoir fait une découverte. Il faut donc que l'étude des applications de l'électricité soit encore bien peu répandue pour qu'on ne craigne pas d'élever de telles prétentions. Voici la liste de quelques-uns de ces inventeurs, extraite du catalogue des brevets d'invention de ces deux dernières années:

GRIMAUX	DONNIER	HEROLD
STEIN ET BOURBOUZE	HUGHES ET BRONAX	CALENDRE
DINI URBAIN	RUDOLPH	RAEDSCH

Pour les autres télégraphes, la liste est encore plus nombreuse; la voici :

HUMASTON	JOLY	RIZET
SCIAS	CALLUM	PRADINES ET TENDEUR
BRIQUET	LENDESAY	BARBOTTE DE BEAULIEU
CACHELEUX	PIERRON	SIEMENS
BOIVIN	DUNCKER	ANSELMES
BALESTRINI	MARQFOY	GREPON-DESCHAMPS

APPENDICES AU CHAPITRE II (2e VOL.) SUR L'APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA SÉCURITÉ DES CHEMINS DE FER

Disques lumineux de M. Breguet. — Quand les chemins de fer présentent, dans les abords des stations, des courbes de petit rayon se développant en contre-bas des terres, il devient impossible aux trains, la nuit, d'apercevoir d'assez loin les disques-signaux que l'on manœuvre des stations pour exécuter à temps les ordres transmis. M. Breguet a donc cherché à remplacer ces disques-signaux par de petits appareils électriques lumineux, répétés en plusieurs points de la courbe et susceptibles d'être manœuvrés à une distance beaucoup plus grande que les appareils ordinaires. La fig. 21, page 442, indique la disposition de ces appareils.

La cage de l'instrument est une boîte de chêne hermétiquement fermée et ne présentant extérieurement qu'une ouverture d'un décimètre environ de diamètre. A l'intérieur de cette boîte est placée une petite lampe à réflecteur, dont la lumière se trouve projetée au moment où la voie est fermée par l'ouverture circulaire de la boîte; quand le mécanisme électro-magnétique n'est pas mis en action, cette lumière est voilée par un écran qui est placé à cet effet devant cette ouverture. Cet écran est porté par un levier E G qui

fait bascule autour d'un axe horizontal portant un petit pignon F. Ce pignon engrène avec un arc de cercle I J denté très-finement et porté par un second levier bascule K H, auquel est adaptée une armature aimantée, laquelle peut oscil-

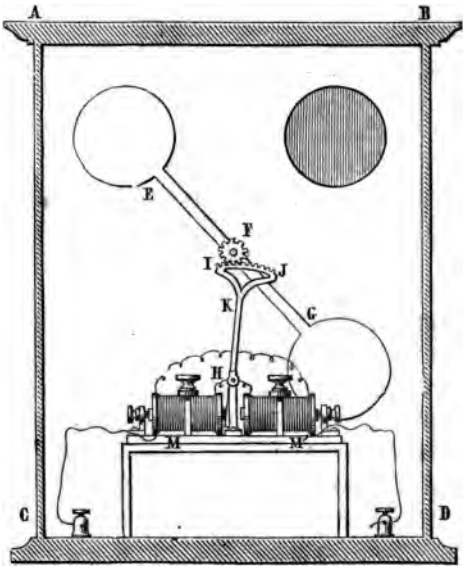


Fig. 21.

ler entre deux électro-aimants M et M'. De cette manière, la petite course de cette armature se trouve amplifiée suffisamment pour déplacer l'écran de la quantité nécessaire pour découvrir l'ouverture circulaire.

Le manipulateur de cet appareil est un simple commutateur à renversement des pôles. Quand on veut indiquer que la voie est libre, on envoie le courant de manière à faire incliner l'écran sur l'ouverture circulaire de la boîte; quand, au contraire, la voie n'est pas libre, on dirige le

courant en sens inverse, et cette ouverture est débouchée.

En janvier 1854, j'avais imaginé un système analogue pour faire mouvoir les disques-signaux dont on se sert actuellement sur les chemins de fer, par l'effet des réactions du fluide électrique. Ce système a même été publié dans le numéro du 15 janvier 1854 du *Moniteur industriel*. Mais j'ai pensé depuis que mon appareil d'alarme des convois, que j'ai décrit dans le deuxième chapitre du second volume de cet ouvrage, était préférable.

Avertisseur électrique de la manœuvre des disques-signaux. — On a établi dernièrement, à la station de Tonnerre (chemin de fer de Lyon), un petit appareil destiné à prévenir quand la manœuvre des disques-signaux est faite. Ce petit appareil n'est autre chose qu'une sonnerie électrique qui est mise en mouvement quand le levier qui commande le jeu des disques le fait apparaître, de manière à indiquer que la voie est fermée, ce qui a lieu toutes les fois qu'un convoi stationne devant la station ; un contact électrique est alors opéré, et la sonnerie entre en mouvement jusqu'à ce que la voie soit devenue libre, c'est-à-dire jusqu'au départ du train. De cette manière, le chef de la station est assuré que le service des signaux a été exécuté ponctuellement.

APPENDICES AU CHAPITRE III (2e VOLUME) SUR L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

Nouveaux systèmes de régulateurs solaires. — Pour éviter la complication du système mécanique destiné à ramener les aiguilles de la pendule à l'heure dans le régulateur électro-solaire, que nous avons décrit page 255, 2e vol., j'ai combiné une nouvelle disposition dans laquelle la différence entre l'heure solaire et l'heure marquée par la pendule, est indiquée sur un cadran spécial qui, par un mécanisme particulier, pourrait au besoin être mis en rapport avec la

déclinaison solaire, suivant les différents mois, et indiquer l'heure moyenne sans table d'équations. Nous ne parlerons pas de ce mécanisme, qui est tout à fait du ressort de l'horlogerie simple, mais nous allons exposer en quelques mots le principe de mes nouvelles dispositions de régulateur.

Si l'on suppose, placé au-dessus du mouvement de la pendule, un système de minuterie exactement semblable à celui que nous avons figuré pl. IX, fig. 4, 2e volume (décrit page 381, 2e vol.), mais tourné dans une position perpendiculaire, et si l'on admet que la roue *a* de ce mécanisme engrène avec une roue intermédiaire recevant son mouvement de la roue de renvoi de la minuterie de la pendule, il arrivera que quand le mécanisme électro-magnétique réagira, au moment du passage du soleil au méridien, la minuterie additionnelle fonctionnera sous l'influence de la pendule.

Au contraire, quand le mécanisme électro-magnétique ne fonctionnera pas, cette minuterie additionnelle restera immobile.

Maintenant, admettons que l'armature de l'électro-aimant, qui doit engrener et désengrener cette minuterie, soit disposée de manière à constituer un rhéotome de Tyer (voir page 292, 1er vol.) : on comprendra que la minuterie additionnelle, une fois engrenée, continuera à fonctionner, bien que le courant soit interrompu à travers l'électro-aimant qui a commandé son action. Pour empêcher ce fonctionnement, il suffira de diriger un courant à travers l'électro-aimant du rhéotome. Or, ce courant peut être envoyé lorsque les aiguilles de cette minuterie, arrivant à minuit, rencontrent simultanément une petite cheville composée de deux parties métalliques isolées, placée devant le chiffre 12 du cadran. Un second rhéotome-ressort, fixé devant l'armature de l'électro-aimant d'engrènement et en contact avec elle lorsqu'elle est attirée, opère ensuite la

rupture de ce courant, et l'appareil est alors tout disposé pour recevoir une nouvelle réaction électrique, lorsque le soleil passera le lendemain au méridien. Alors les aiguilles se metteront de nouveau en marche, et, comme elles sont munies de petites languettes flexibles comme celles que nous avons représentées fig. 15, pl. III, 1er volume, elles échapperont la cheville.

Pour empêcher une fermeture trop prolongée du courant par le mercure du thermomètre-régulateur, on pourrait adapter à l'axe de l'aiguille des minutes de la minuterie additionnelle un petit tambour d'ivoire, sur lequel serait incrustée une petite bande métallique de deux millimètres. Un ressort appuierait sur ce tambour, et, lorsqu'il ne toucherait plus la bande métallique, le courant serait interrompu.

On pourrait encore remplacer ce système par un mécanisme enregistreur analogue à celui de mon anémographe électrique, mais l'usage en serait difficile.

APPENDICE AU CHAPITRE IV (2e VOL.)
SUR L'APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AUX OBSERVATIONS SCIENTIFIQUES ET DE PRÉCISION

Chronoscope de M. Glœsener. — « Cet appareil, dit M. Glœsener, se compose d'un tambour en aluminium de 7 centimètres de longueur, de 50 centimètres de circonférence, divisé en mille parties égales, faisant deux tours par seconde, et muni d'un compteur indiquant le nombre de tours faits. Son mouvement est circulaire et non pas héliçoïdal, produit par des poids et réglé par un volant enfermé dans un barillet. Les styles sont disposés de manière à correspondre tous à la même division du tambour, à ne s'en éloigner jamais que de 2 à 3 millimètres, et à y faire en tombant des marques sur du noir de fumée dont on les

couvre avant chaque expérience. Le dernier pignon du système de roues de l'appareil est remplacé par une vis sans fin dans laquelle engrènent à la fois quatre dents de la roue voisine, ce qui contribue à rendre le mouvement plus doux et plus uniforme. Un petit modérateur centrifuge très-sensible est adapté à l'axe vertical de la vis. Les styles ne font que frapper le tambour et s'en éloigner sans produire de frottement.

Je détermine le temps qu'il s'agit de trouver à l'aide de deux procédés nouveaux : 1° je renverse les courants dans les électro-aimants; 2° je remplace les électro-aimants et les fers doux par des aimants artificiels et par des conducteurs électro-dynamiques. Ces procédés permettent, l'un de détruire, et l'autre d'éviter l'influence du magnétisme rémanent, et de compter le temps écoulé entre les chutes de deux styles successifs, au lieu de compter le temps écoulé entre l'instant où un style tombe et marque, et celui où le style suivant se relève. On élimine également l'influence de toutes les autres causes retardatrices, telles que la résistance de l'air à la chute des lames de fer et des styles, la résistance des fils à rompre par le projectile, le manque d'instantanéité dans le jeu des commutateurs, dans le jeu des leviers, des styles et la durée de leur chute.

« On opère, en effet, toujours par soustraction sur deux quantités différentes, affectées chacune de la même erreur, de sorte que l'erreur commune disparaît, c'est-à-dire que les erreurs se compensent, et que, par suite, le temps cherché ou écoulé entre les deux instants où le projectile interrompt le circuit est égal au temps écoulé entre les instants où deux styles font des marques dans le noir de fumée qui couvre le tambour, ainsi que nous allons le voir.

« *Premier procédé.* — Emploi des électro-aimants avec renversement du courant. — Au-dessus et près du tambour sont disposés convenablement deux ou plusieurs petits

leviers légers mobiles, dans des charnières, sur un axe horizontal commun, parallèles les uns aux autres et de même longueur, munis chacun à son extrémité libre d'un petit cône d'acier servant de style, portant une lame de fer doux et reposant sur la même division du tambour lorsque le circuit n'est pas établi. A quelques millimètres de chacune de ces lames est disposé un électro-aimant : ces électro-aimants sont tous de très-petites dimensions, munis de 7 à 10 mètres de fil, parallèles aux lames perpendiculaires à l'axe du tambour. (J'avais déjà adopté cette disposition des styles et des électro-aimants en 1849. — Voir *Journal de Liége*, 8 mai 1849.)

« Le commutateur dont je me sers pour renverser le courant est disposé de manière à transmettre le courant dans un sens, lorsque son levier communiquant avec le pôle positif de la pile est maintenu dans une certaine position à l'aide d'un petit ressort et d'une détente, et à le transmettre en sens contraire aussitôt que cette détente est dégagée par un petit mouvement brusque que lui imprime la cible au moment où elle est traversée par le boulet. Un commutateur semblable est placé près de chacune des cibles que le boulet devra traverser, mais que le courant ne parcourt pas.

« Le commutateur se compose d'une lame fixe en cuivre M, qui communique avec le pôle négatif de la pile ; de deux lames ressorts L et L′ isolées, fixées par un de leurs bouts et touchant par l'autre bout, l'une la face supérieure, et l'autre la face inférieure de la lame M. Un levier, D, communiquant avec le pôle positif de la pile et mobile autour d'un axe horizontal, éloigne la lame L de M en se soulevant, et la lame L′ en s'abaissant. Un ressort est disposé de façon à maintenir le levier D en contact avec la lame-ressort L′, en éloignant celle-ci de M, et une lame-ressort ou détente mobile est fixée de telle sorte qu'elle amène le levier D en con-

tact avec le ressort L, qu'elle puisse être déplacée par le choc d'une cible lorsque celle-ci est traversée par un boulet, et qu'alors le levier D se mette subitement en contact avec le ressort L′, en renversant le courant.

« J'emploie autant d'éléments Bunsen qu'il y a de styles à mouvoir; je donne aux courants la même intensité, aux styles et aux lames de fer le même poids, aux commutateurs la même disposition, et je procède comme il suit :

« Je place un commutateur près du canon chargé en rapport, avec le boulet à l'aide d'un fil que rompt le boulet à son départ, et un second commutateur près de la bouche du canon, devant laquelle un fil uni au levier du commutateur est tendu. Ces fils sont disposés de telle sorte, que le boulet les coupant, le courant est renversé. On fixe, à des distances différentes, des cibles et des commutateurs, de façon que le boulet, traversant les cibles, le courant soit renversé. Cela fait, on établit le circuit, on met le tambour en mouvement, et l'on commence l'expérience : le style n° 1 tombe, fait une marque sur le noir du tambour et se relève subitement; un instant après tombe le style n° 2, fait une marque sur le noir et se relève instantanément, et ainsi de suite. L'expérience étant terminée, on arrête le tambour, on ramène successivement chacune des marques sous le style qui l'a produite; on compte le nombre des divisions comprises entre deux marques successives, et, lorsque le tambour aura décrit plus d'un tour avant que deux styles consécutifs aient tracé des points sur le noir, on le reconnaît immédiatement. Ce nombre de divisions donne le temps précis écoulé entre les deux instants où les deux marques correspondantes ont été faites, et ce temps est exactement égal au temps écoulé entre les deux instants où le boulet a rompu la cible et où a été renversé le courant, bien qu'il ait agi chaque fois un instant ou quelques instants avant que les styles aient fait les marques, le retard

mis par le premier style étant le même que celui mis par le second. Même le magnétisme rémanent ne pourrait produire aucune influence nuisible dans le cas où il ne serait pas détruit instantanément par le renversement du courant, puisque le même retard aurait lieu pour deux et pour tous les styles.

« *Deuxième procédé.* — Emploi d'aimants artificiels et de conducteurs électro-dynamiques dans les chronoscopes. — Les styles fonctionnent comme dans le cas précédent, et l'on trouve exactement de la même manière le temps écoulé entre l'arrivée de deux passages successifs du boulet en deux points différents de sa trajectoire. Mais, dans ce cas, au lieu de renverser le courant, on l'interrompt et on le rétablit immédiatement dans le même sens, en modifiant les commutateurs convenablement pour remplir ce but. On conduit le courant de chaque élément dans le commutateur et de là dans le fil que le boulet devra traverser ; on réduit les commutateurs à de très-petites dimensions, on les fixe sur une planche près du tambour, on adapte à chacun des leviers qui portent les styles une tige en laiton, telle que le circuit étant rompu par le boulet, le style tombe, fasse une marque, et qu'alors la tige dégage ou abaisse la détente du commutateur, en rétablissant le courant instantanément ; il suffit d'employer le courant d'une seule pile et de le conduire par dérivation dans les conducteurs électro-dynamiques.

« De cette manière, on conçoit qu'en employant quatre styles, et partant quatre courants, quatre conducteurs et autant de commutateurs, on pourra mettre en rapport le commutateur n° 1 avec le boulet mis en place ou avec la capsule d'une carabine ; le commutateur n° 2 avec un fil conducteur tendu devant la bouche de l'arme ; le commutateur n° 3, avec le fil conducteur formant cible, placé à distance du canon, etc. ; et l'on pourra déterminer la vitesse

d'un boulet dans le canon jusqu'à sa sortie, la vitesse du boulet à partir de la bouche du canon, et la vitesse en deux points différents de sa trajectoire.

« Mais comment dispose-t-on les aimants artificiels et les conducteurs ?

« On emploie des aimants puissants et fixes, et des bobines en cuivre légères et mobiles, ou réciproquement, on se sert de bobines pesantes et d'aimants très-légers et mobiles.

« On fixe à un axe horizontal, au-dessus du tambour, un levier court et mobile portant à l'un de ses bras un petit cône d'acier servant de style et un poids léger ; aux deux extrémités du levier, on adapte deux spirales plates en cuivre, réunies entre elles par un fil et formées de façon que, animées par un courant, elles agissent l'une et l'autre par attraction ou par répulsion sur le même pôle d'un aimant. On règle la course très-petite du levier (2 à 3 millimètres) par des vis d'arrêt, et l'on dispose un aimant recourbé très-puissant au-dessus et très-près des spirales, de telle sorte que le circuit étant établi, le bras du levier qui porte le style et la tige destinée à rétablir le courant soit soulevé.

« On place près du tambour autant de ces systèmes et autant de commutateurs que l'on veut faire servir de styles.

« Lorsqu'on veut se servir d'aimants mobiles et de bobines fixes, on remplace chacun des aimants fixes par deux bobines droites et fixes, réunies entre elles par un fil et agissant, lorsqu'elles sont traversées par un courant, toutes deux par attraction ou par répulsion sur le même pôle d'un aimant. Au levier on substitue un barreau aimanté très-léger, équilibré par des poids et portant d'un côté un style, un petit poids et une tige qui sert à rétablir le courant rompu.

« On peut aussi adapter à chacune des extrémités d'un

levier horizontal un aimant recourbé très-léger, plonger un pôle de l'aimant A dans l'intérieur d'une bobine fixe presque jusqu'au fond, et un pôle de l'aimant B dans une seconde bobine et laisser les autres pôles à l'extérieur; conduire le courant dans les bobines, de façon que l'une tende à faire descendre et l'autre à faire monter l'aimant en présence, si un des pôles à l'intérieur est terminé en pointe. On voit combien ce système est propre à servir dans un chronoscope. Aussi l'expérience m'a montré que les trois systèmes fonctionnent très-bien; ils ont cet avantage particulier que les commutateurs peuvent être fixés près du tambour, et que le mode de rétablir le courant est commode et sûr.

« Dans le premier système, on pourrait aussi fixer des commutateurs de très-petites dimensions près du tambour, et adapter à la lame de fer une tige disposée pour renverser le courant; mais, dans ce cas, le courant ne sera renversé qu'après que la lame sera déjà détachée de l'électro-aimant. Le courant renversé fera seulement que le style se relève un peu plus tôt.— Néanmoins, le magnétisme rémanent, quoique retardant la chute des styles, n'aurait pas d'influence sur les résultats.

« En réfléchissant sur l'action des courants d'induction, j'entrevois que des courants de cette espèce d'une intensité suffisante pourraient être appliqués avec avantage aux chronoscopes. On n'aurait, dans ce cas, besoin d'employer ni commutateurs ni interrupteurs. Le courant inducteur traverserait le fil conducteur que le boulet devrait rompre, et le courant induit agirait sur un léger aimant artificiel et recourbé, dont l'un des pôles plongerait à peu près jusqu'au fond d'une bobine fixée au-dessus du tambour, tandis que l'aimant même serait attaché à un levier horizontal et équilibré par des contre-poids. Aussitôt que le courant inducteur serait rompu, le courant induit précipiterait le style

attaché à l'aimant sur le tambour, et lorsqu'il cesserait d'agir, le style se relèverait.

« La construction de mon chronoscope est très-simple, et son emploi de la plus grande facilité. Je me sers, comme MM. Breguet, Constantinoff et Martin de Brettes l'ont fait, d'un tambour divisé en mille parties, de poids moteurs et d'un volant régulateur. Quant au reste, mon appareil diffère totalement de ceux de ces savants ingénieurs. Les organes sont réduits au plus petit nombre possible, ils sont autrement disposés et le mode de leur fonctionnement est basé sur le principe du renversement du courant dans les électro-aimants, et l'application aux chronoscopes des aimants artificiels et des conducteurs électro-dynamiques. Ces deux applications aux chronoscopes sont entièrement nouvelles ; elles n'ont encore été ni indiquées ni faites par personne que je sache. Ces procédés permettent de dégager les résultats de l'expérience des effets de plusieurs causes perturbatrices dont il serait impossible de déterminer l'influence.

« Les mêmes principes, appliqués aux chronoscopes existants, constitueraient un perfectionnement important dans leur construction. »

Maréographe électrique. — L'expérience m'a démontré que, dans cet instrument, on pouvait remplacer les boîtes électro-magnétiques mobiles sur les crémaillères (voir page 411, 2e vol.) par de simples frotteurs, analogues à ceux du mesureur électrique que nous avons décrits page 481, 2e vol. En effet, la mesure des hauteurs se faisant lentement, il arrivera toujours que la roue du mesureur sera mise en rapport, à un instant ou à un autre, avec les frotteurs mobiles, au moment d'une de leurs courses extrêmes, et, comme le courant ne pourra pas être fermé ultérieurement, la mesure sera fournie sans difficulté. Il faudra seulement que les fils, qui réuniront les plaques incrustées sur

le mât, soient reliés avec les pointes du mesureur d'une manière inverse pour les deux frotteurs, afin que le premier contact électrique opéré à chaque demi-révolution du mesureur soit en rapport, l'un avec le sommet extrême des vagues, l'autre avec leur dépression également extrême.

Cette disposition simplifie beaucoup l'instrument et évite un fil conducteur.

APPENDICE AU CHAPITRE V (3e VOL.)
SUR LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ A L'INDUSTRIE, AUX ARTS ET AUX USAGES DOMESTIQUES

Cibles télégraphiques de M. Martin de Brettes. — L'objet de la cible télégraphique est de faire connaître au tireur, sans qu'il se déplace, la position du point de la cible que la balle a frappé, quelle que soit la distance du but. Cette cible peut être surtout utile dans le tir des armes à longue portée, car, par ce moyen, le tireur connaîtra à chaque coup le point de la cible touché par la balle, et pourra alors rectifier le pointage de son arme.

Cet appareil repose sur les principes suivants : 1° la détermination par l'électricité des points de la cible qui recevront le choc des balles ;

2° La reproduction homologue de leur position sur un petit tableau placé près de l'observateur, laquelle peut être faite par le tireur ou mécaniquement, sans aucun aide.

« Pour résoudre ce problème, dit M. Martin de Brettes, on divise en zones verticales et horizontales d'égale largeur la surface de la cible, qui se trouve ainsi divisée en carrés égaux, dont chacun peut être considéré comme appartenant à la fois à deux zones, l'une verticale, l'autre horizontale.

« Les zones verticales sont numérotées de gauche à droite, et les horizontales de haut en bas, de sorte que la

position d'un carré est déterminée quand on connaît le numéro de chacune des deux zones auxquelles il appartient.

« La grandeur de ces carrés étant arbitraire, on peut réduire leurs côtés à des dimensions aussi petites qu'on voudra, et, par conséquent, l'erreur que l'on commettrait en considérant tous les points de leur surface comme ayant les mêmes coordonnées que le centre, car l'erreur aurait pour limite *maxima* la moitié du côté même que l'on adopterait. En adaptant un carré dont le côté serait de $0^m,04$, l'erreur maxima que l'on pourrait commettre serait le diamètre environ de la balle. »

Pour obtenir la désignation télégraphique de celui des carrés de la cible qu'a rencontré la balle, M. Martin de Brettes rend tous ces carrés mobiles, ou plutôt il place au milieu d'eux des boulons à tête large, sans cesse repoussés en avant par des ressorts antagonistes, soit métalliques, soit en caoutchouc. Lorsque ces boulons sont repoussés à l'intérieur de la cible par la balle, ils ferment deux circuits en relation chacun avec un appareil électro-magnétique adapté au tableau placé près du tireur; l'un de ces appareils sert à indiquer le numéro ou les numéros des zones verticales qui contiennent le boulon abaissé, et l'autre remplit un objet analogue à l'égard des zones horizontales. Ces boulons forment donc le transmetteur du système télégraphique.

Chacun des appareils électro-magnétiques avec lesquels la cible est en rapport télégraphique se compose d'un système de détentes électro-magnétiques en nombre égal à celui des lignes (soit verticales, soit horizontales) de la cible, et ayant pour effet de dégager en temps opportun des roues en limaçon sollicitées par un poids. Ces roues, construites en matière isolante, sont disposées de façon à servir elles-mêmes d'interrupteurs de courant; et, à cet effet, elles portent incrustées sur l'une des faces latérales

une série des plaques métalliques mises en rapport avec leur axe de rotation. Le nombre de ces plaques, pour chacune des roues, est indiqué par le numéro d'ordre de la ligne de la cible à laquelle correspondent les roues elles-mêmes. Un frotteur, en rapport avec une pile spéciale, appuie sur ces roues et peut transmettre, par leur intermédiaire, le courant à un système de télégraphes à cadran, sur lequel se trouvent inscrits les différents numéros des lignes de la cible. Comme ces lignes sont horizontales et verticales, il y a deux télégraphes à cadran, de même qu'il y a deux appareils commutateurs en rapport avec la cible.

Le jeu de ces appareils s'explique aisément. Au moment où l'un des boulons transmetteurs de la cible se trouve affaissé par le choc de la balle, un double courant est envoyé à travers les deux appareils commutateurs du récepteur; une roue à limaçon de chaque appareil est dégagée, et ce dégagement, en provoquant une double série d'interruptions de courants, fait marcher les aiguilles des deux télégraphes. L'une de ces aiguilles indique le numéro d'ordre de la ligne horizontale correspondant au boulon frappé, et l'autre le numéro d'ordre de la ligne verticale correspondant à ce même boulon.

Si les balles frappaient toujours exactement sur les têtes des boulons transmetteurs, le problème serait, comme on le voit, résolu par la disposition précédente; mais il n'en est pas ainsi et il peut arriver, soit que la balle s'applique entre deux boulons séparés par une des lignes horizontales, soit entre deux boulons séparés par une ligne verticale. Alors quatre circuits se trouvent fermés, et, comme il n'y a que deux télégraphes, les indications ne pourraient plus être fournies. Pour éviter cet inconvénient, M. Martin de Brettes munit de deux aiguilles ses deux télégraphes, et répète deux fois les mécanismes, afin que chaque aiguille marche indépendamment l'une de l'autre. L'une de ces

aiguilles correspond aux lignes paires, l'autre aux lignes impaires. De cette manière, les quatre indications se trouvent fournies à la fois sans se confondre, et, avec ces indications, il est facile de trouver sur le tableau indicateur la position du point frappé sur la cible.

M. Martin de Brettes a disposé ce système de cible télégraphique de plusieurs manières; mais nous croyons inutile de les décrire, parce qu'elles ne varient que dans les détails de l'exécution. L'une d'entre elles permet, au moyen de chaînes de renvoi ou de crémaillères, de faire indiquer sur le tableau indicateur le point exact de la cible qui a été touché par la balle, ce qui évite toute combinaison de chiffres. Je crois que ce perfectionnement est plus intéressant sur le papier qu'en réalité, car les appareils de cette nature sont déjà assez compliqués dans leurs fonctions essentielles, sans leur ajouter un mécanisme de précision exigeant pour fonctionner une certaine force que l'électricité ne peut guère produire. Je renverrai, du reste, les personnes que cette question intéresse au travail de M. Martin de Brettes, inséré dans le *Journal des Armes spéciales* (année 1856).

FIN

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE III

(Suite.)

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

V

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A L'INDUSTRIE, AUX ARTS ET AUX USAGES DOMESTIQUES.

Électro-tissage.

Métiers à la Jaquard..... 3
Premier système de M. Bonelli..... 8
Opinion de M. Jouve sur ce système..... 15
Opinion de M. Ed. Gand..... 16
Système de M. Maumené..... 21
Critique de ce système par M. Ed. Gand..... 23
Système de MM. Pascal et Mathieu..... 27
Système de M. Ed. Gand..... 29
Nouveau système de M. Bonelli..... 34
Critique de ce nouveau système par M. Acklin..... 36
Id. *id.* par M. Ed. Gand..... 44

Autres applications industrielles.

Métier électro-magnétique pour filer la soie, de M. A. Achard..... 51
Électro-trieuse de M. Chenot..... 60
Électro-métreur de M. Chenot..... 61
Régulateur électro-automatique de la température de M. Th. Du Moncel..... 63

Applications diverses des sonneries électriques.

Application aux manomètres et aux flotteurs..... 68
Application aux horloges pour prévenir quand elles doivent être remontées..... 71
Application aux horloges pour servir de cloches de signal pour la reprise et la cessation du travail dans les grands ateliers..... 72
Navette-moniteur électrique..... 75

Application des sonneries électriques aux piles pour prévenir quand le courant qu'elles envoient est devenu trop faible..... 76
Application à la fermeture des portes et des meubles à secret.... 78
Application aux pêcheries..... 80
Application pour préserver les navires des ensablements..... *Id.*
Application pour avertir de la déclaration d'une voie d'eau à bord des navires..... 83
Application comme sonnettes pour les usages domestiques..... 88

Applications électriques économiques.

Loch électrique..... 91
Harpon électrique pour la pêche de la baleine..... 94
Régulateur électrique pour faire cuire les œufs..... 95
Distributeur électrique pour la galvanoplastie..... 97
Avertisseur électrique des concierges..... 99
Serrures électro-magnétiques..... 101

Applications économiques de la télégraphie électrique.

Application au commerce, à l'industrie, à la justice, etc., etc..... 104
Application à bord des navires..... 106
Application en cas d'incendie..... 107
Application aux opérations militaires..... *Id.*
Transmission électrique de la parole..... 110
Télégraphie des cimetières..... 112
Télégraphie des sapeurs pompiers..... 113

Application de l'électricité aux beaux-arts.

Diapason électrique de M. Lissajoux..... 115
Pianos et orgues électro-magnétiques..... 116
Enregistreur des improvisations musicales de M. Th. Du Moncel... 117
Pianos et orgues mis en jeu par une petite boîte à musique..... 122
Métronome électrique..... 123
Machine à graver électro-magnétique de M. Hansen..... 125
Système de gravure électrique de M. Salmon..... 127
Application de l'électricité à la photographie..... 129
Application à la physique amusante..... 130

VI

MOTEURS ÉLECTRIQUES.

Considérations sur l'avenir des moteurs électriques..... 131
Moyens d'éviter quelques-unes des influences fâcheuses des réactions électro-magnétiques..... 133
Historique des moteurs électriques..... 136

Électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des courants tant magnétiques qu'électriques.

Électro-moteurs à hélices oscillantes de M. Du Moncel..... 141
Électro-moteur à une seule bobine de M. Siemens..... 144
Moteur galvanométrique de M. Dering..... *Id.*

Électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des aimants temporaires et des aimants persistants.

Électro-moteur de M. Weare..... 146

Moteurs fondés sur l'attraction du fer par les électro-aimants.

Première classe :

Moteur de M. Froment à simple effet..... 147
Moteur à double effet et à deux manivelles..... 148
Moteur de M. Roux..... 149
Moteur de MM. Fabre et Kunemann..... 150
Moteur de M. Dezelu..... 151

Deuxième classe :

Moteurs à mouvement direct..... 152
Moteur de M. Larmenjeat..... 154
Moteur de M. Allen..... 156
Moteur de M. Pulver-Macher..... 157

Troisième classe :

Moteurs à mouvements combinés de M. Bourbouze..... 159
Id. *id.* de M. Froment..... *Id.*
Moteur de M. Marié Davy..... 161

Électro-moteurs fondés sur les réactions réciproques des électro-aimants.

Moteur de M. E. Becquerel..... 164

Électro-moteurs dans lesquels la pesanteur intervient comme source de puissance.

Électro-moteur de MM. J. Menant et Th. Du Moncel..... 165
Quantité de travail de quelques électro-moteurs..... 167

VII

ACCESSOIRES DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Relais.

Relais de M. Morse..... 169

Relais de M. Siemens..... 170
Relais de M. Hipp..... 171
Relais de MM. Breguet et Monilleron..... 171
Relais de M. Gloesener..... 172
Relais de M. Régnard..... 173

Relais pour la double transmission des dépêches.

Comment la question doit être posée..... 174
Système de M. Wartmann..... 178
Translateurs..... 179

Relais et appels silencieux.

Système de M. Wartmann..... 183
Système de M. Breguet..... 190
Autres systèmes..... 191
Conjoncteurs pour la communication directe..... *Id.*

Parafoudres.

Parafoudre de M. Walker..... 192
Parafoudre de M. Steinheil..... 193
Parafoudre de M. Fardely..... 194
Parafoudre de M. Meismer..... *Id.*
Parafoudre des télégraphes français..... 195
Parafoudre de M. Masson..... 196
Parafoudre de M. Bianchi..... 197

Disposition des postes télégraphiques.

Commutateurs..... 198
Disposition d'un poste pour les télégraphes Breguet à double aiguille..... 203
Disposition d'un poste pour les télégraphes Morse..... 208
Disposition d'un poste télégraphique de chemins de fer..... 210

LIVRE IV

APPLICATIONS PHYSIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

I

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Considérations sur la lumière électrique..... 214

Régulateurs de lumière électrique.

Régulateur de MM. Staite et Pétrie..... 217
Régulateur de M. Archereau..... *Id.*
Régulateur de M. Foucault..... 219
Régulateur de MM. Breton..... 221
Régulateurs de M. Duboscq..... *Id.*
Premier régulateur de M. Duboscq..... 222
Deuxième modèle de M. Duboscq..... 225
Troisième modèle de M. Duboscq..... 230
Régulateur de M. Jaspar..... 231
Régulateur de M. Loiseau..... 232
Régulateur de M. Deleuil..... 233
Régulateur de MM. Lacassagne et Thiers..... 234
Régulateur de M. Liais..... 239

Applications de la lumière électrique.

Application à l'éclairage..... 240
Système de M. Wartmann..... 241
Système de M. Quirini..... 247
Système de M. Deleuil..... 248
Système de M. Ronalds..... 249
Système de MM. Lacassagne et Thiers..... 250
Système de M. Liais..... 251
Système de M. Martin de Brettes..... 252
Application de la lumière électrique aux expériences de physique. 254
Application aux opérations militaires..... 258
Application à la navigation..... 271
Application pour l'éclairage des phares..... 273
Bouées lumineuses..... 274
Application de la lumière électrique à la pêche..... *Id.*
Application à l'éclairage des galeries de mines..... 276
Application aux travaux sous-marins..... 277
Application aux reproductions photographiques..... *Id.*
Application aux travaux de nuit..... 279
Application aux représentations théâtrales et aux fêtes publiques.. 280

II

APPLICATIONS DES EFFETS CALORIFIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

Inflammation des mines.

Considérations générales sur l'importance de cette application.... 281
Ce que c'est qu'une mine monstre..... 285

Fusées de MM. Law-Brunton et Stateham..... 288
Expériences de MM. Ruhmkorff et Verdu..... 290
Système de M. Savare..... 291
Système de M. Verdu..... 294
Système de M. Th. Du Moncel..... 295
Applications diverses de ces systèmes d'inflammation..... 302

Inflammation des gaz.

Procédé électrique pour allumer à distance un bec de gaz de MM. Liais et Du Moncel..... 303
Télégraphe nautique de M. Trève..... 304
Moteurs électro-chimiques..... 311

Autres applications des effets calorifiques de l'électricité.

Fabrication électrique du diamant..... 313
Application des effets électro-calorifiques à la fusion des métaux.. 316
Défense des issues..... *Id.*
Machines infernales russes..... 318
Application de l'électricité à la pêche d'objets de fer..... 319

III

APPAREILS FONDÉS SUR LES RÉACTIONS DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

Électricité atmosphérique..... 320

Paratonnerres.

Considérations sur la nécessité des paratonnerres..... 322
Première instruction de M. Gay-Lussac sur les paratonnerres..... 324
De la tige..... *Id.*
Du conducteur..... 327
Paratonnerres des églises..... 331
Paratonnerres des magasins à poudre..... 333
Paratonnerres des vaisseaux..... 334
Disposition générale des paratonnerres..... 335
Observations sur l'efficacité des paratonnerres..... 337
Deuxième instruction de M. Pouillet sur les paratonnerres..... 339
Note spéciale pour les vaisseaux..... 359
Note spéciale pour le palais de l'exposition..... 360
Système des paratonnerres de sir Snow Harris..... 362

Électro-substructeurs.

Électro-substructeur de M. Dupuis-Delcourt..... 365
Électro-substructeurs utilisés à l'agriculture..... 369

LIVRE V

APPLICATIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ.

APPLICATIONS A LA MÉDECINE.

Historique des applications médicales de l'électricité..... 370

Des différentes manières d'appliquer l'électricité médicale.

Électrisation des Machines..... 379
Bains électriques..... *Id.*
Électrisation par pointes..... *Id.*
Électrisation par étincelles..... 380
Électrisation par commotions..... 380
Électrisation par frictions..... 381
Galvanisation..... 382
Galvanisation par bains..... *Id.*
Galvanisation par simple courant..... 383
Galvanisation par courants interrompus..... 386
Galvano-puncture..... *Id.*
Sétons électriques..... 387
Moxas galvaniques..... 390
Applications des effets caloriques des courants à la médecine et à la chirurgie..... 391
Cataplasmes galvaniques..... 396
Tissus galvaniques..... 397
Mixtures galvaniques..... *Id.*
Chaînes galvaniques..... *Id.*
Pointes et instruments voltaïques..... 402
Appareil du docteur Mansford..... *Id.*
Électrisation par induction..... 404
Électrisation par les courants de premier et de second ordre..... *Id.*
Électrisation par courants statiques..... 406
Électrisation par étincelles des courants induits..... 408
Électrisation par simple courant..... 409
Électrisation par courants condensés..... *Id.*
Électrisation par le choc en retour..... *Id.*
Électrisation par l'extra-courant..... 410
Bain électro-magnétique..... 411
Accessoires des appareils électro-médicaux..... *Id.*
Ventouse électrique..... 412
Appareils à courants dérivés..... *Id.*
Éponges électriques..... 416

Sacs électriques..... 417
Maladies guéries par divers traitements électriques..... 419
Plumes électro-galvaniques..... 424
Reproduction des expressions diverses de la physionomie humaine au moyen des réactions électro-physiologiques..... 425
Considérations générales sur l'avenir des applications électriques et les services qu'elles ont déjà rendus..... 426

APPENDICES

APPENDICES AU CHAPITRE Ier SUR LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

Télégraphe imprimeur de M. Breguet..... 434
Télégraphes imprimeurs à signaux Chappe..... 436
Télégraphe imprimeur de MM. Digney..... 437

APPENDICES AU CHAPITRE II
SUR L'APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA SÉCURITÉ DES CHEMINS DE FER

Disques lumineux de M. Breguet..... 441
Appareil contrôleur pour la manœuvre des disques-signaux..... 443

APPENDICES AU CHAPITRE III SUR L'HORLOGERIE ÉLECTRIQUE

Nouveau système de régulateur électro-solaire..... 443

APPENDICES AU CHAPITRE IV
SUR LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ AUX OBSERVATIONS SCIENTIFIQUES ET DE PRÉCISION

Chronoscope de M. Glœsener..... 445
Perfectionnement du maréographe électrique..... 452

APPENDICES AU CHAPITRE V
SUR LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ A L'INDUSTRIE, AUX ARTS ET AUX USAGES DOMESTIQUES

Cible télégraphique de M. Martin de Brettes..... 453
Table des matières..... 457

FIN DE LA TABLE

PARIS — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
REFERENCE DEPARTMENT

This book is under no circumstances to be taken from the Building

Form 410

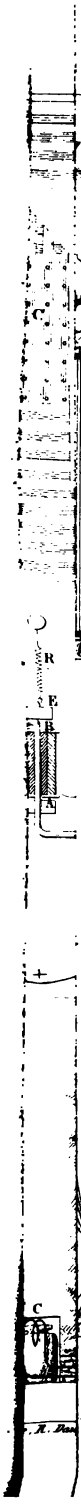


Fig. 7.

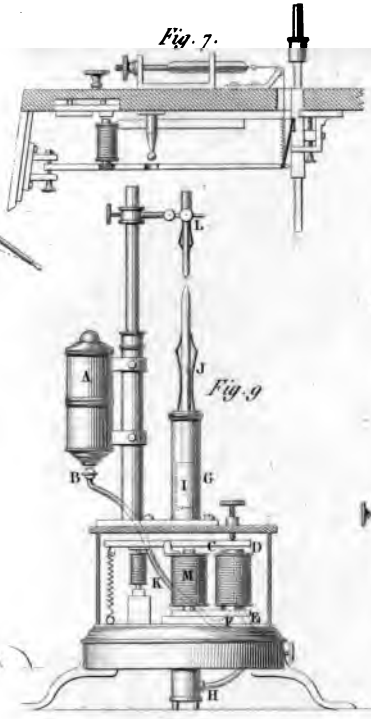


Fig. 9

Fig. 6.

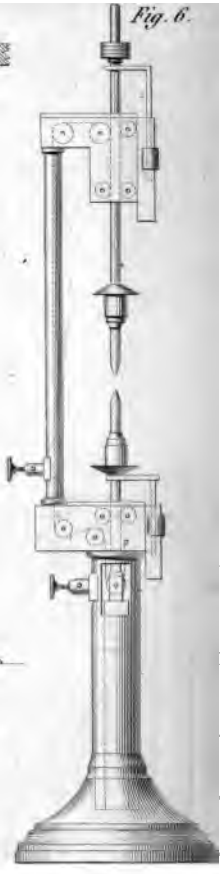


Fig. 19.

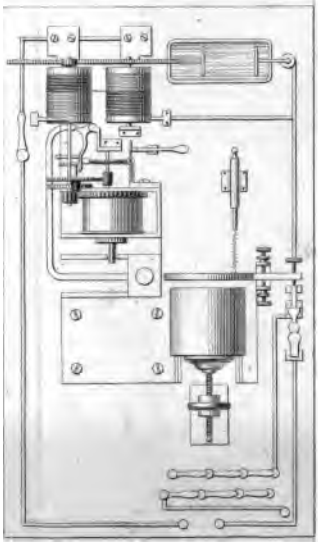
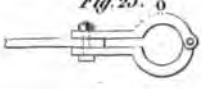


Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 24.

Fig. 23.



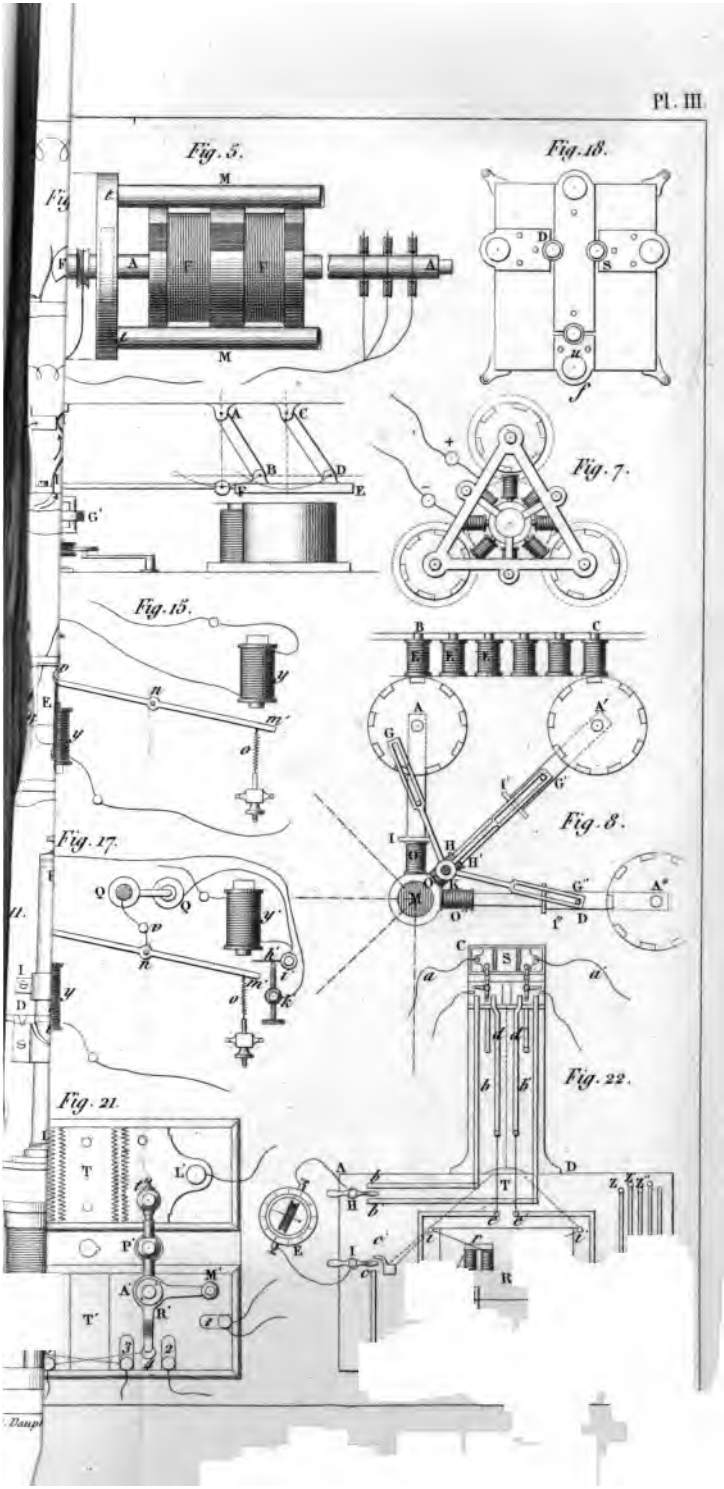


Fig. 5.
Fig. 18.
Fig. 7.
Fig. 15.
Fig. 8.
Fig. 17.
Fig. 22.
Fig. 21.

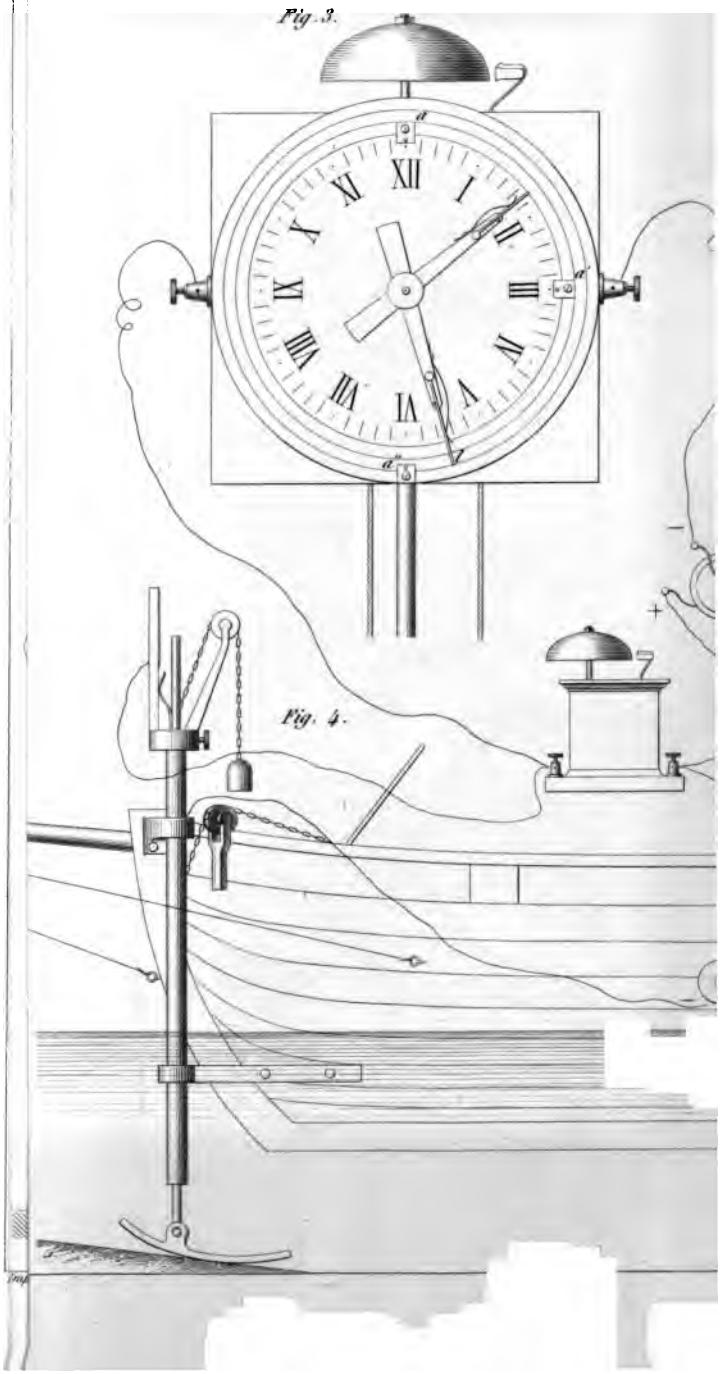


Fig. 3.
a
a'
a''
XII
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI
Fig. 4.
+
−

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 20

Fig. 21.

Fig. 17.